

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод подъемной лебедки мостового крана грузоподъемностью 35 тонн.

УДК 62-83-523:621.864:621.874

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Ортиков Шахзод Ихтиёр угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С..	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Умурзакова А. Д.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Гуляев М.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Ортикову Шахзоду Ихтиёр угли

Тема работы:

Асинхронный электропривод подъемной лебедки мостового крана грузоподъемностью 35 тонн.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Кран мостовой опорный грузоподъемностью 35 т., режим работы – циклический. Требования к механизму подъема: диапазон регулирования $D=1:100$, при плавном регулировании скорости в момент пуска и торможения.
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор и современное состояние электрооборудования мостовых кранов, постановка задачи; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма передвижения; исследование работы мостового крана с помощью имитационной модели.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема электропривода подъема мостового крана Графики переходных процессов подъема</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Мелик-Гайказян Мария Вигеновна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Гуляев Милий Всеволодович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Заключение</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>05.04.2019г.</p>
--	---------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		05.04.2019г.
Старший преподаватель	Умурзакова А. Д.	к.т.н.		05.04.2019г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Ортиков Шахзод Ихтиёр угли		05.04.2019г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2019г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Умурзакова А. Д.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 129 с., 31 рисунок, 20 таблиц, 14 источник, 2 приложения.

Ключевые слова: подъёмные механизмы, электрические краны, механизмы подъёма, регулируемый электропривод, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, система управления электропривод, оптимизация контура, структурная схема, имитационная модель.

Цель работы –определение пути модернизации существующих систем электропривода механизмов кранов, проектирование и исследование асинхронного частотно-регулируемого электропривода механизма подъема крана, удовлетворяющего техническим условиям и требованиям.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word. 2007. Расчеты произведены в программной среде MathCAD 2007. Имитационное моделирование выполнено с использованием программы Simulink/Matlab.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1. ТИПЫ КРАНОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ	11
1.2.1. Подъемно-транспортные машины и механизмы	11
1.2.2. Конструкции кранов	12
1.3 Режимы работы мостовых кранов	13
1.4 Определение группы классификации (режим) кранов и механизмов в целом.	15
2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КРАНА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ	20
2.1 Электропривод механизма подъема как объект автоматизации	21
2.2 Технические характеристики механизма подъема крана	23
2.3 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода	24
3. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ	28
3.1 Выбор электродвигателя и расчет параметров	28
3.1.1 Расчетные параметры электродвигателя	30
3.1.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя по каталожным данным	31
3.1.3 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя	36
3.1.4 Механическая система электропривода подъема	39
3.1.5 Параметры элементов механической системы привода	40
3.1.6 Определение заданной области работы	42
3.2. Расчет предельных характеристик разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель	45
3.2.1. Определение максимальной и минимальной частоты инвертора	45
3.3 Расчет механических и электромеханических характеристик разомкнутой системы	46
3.4 Выбор преобразователя частоты	49
3.5 Параметры преобразователя частоты	50
3.6 Проверка правильности выбора преобразователя	53
3.7 Проверка обеспечения заданной области работы	54
3.8 Структурная схема силового канала электропривода	56
3.9 Определение максимального момента при подъеме и спуске в системе векторного управления, максимального ускорения и максимального усилия в канате	58
4. ОПТИМИЗАЦИЯ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ..	60
4.1 Структурная схема линеаризованной САУ РЭП	60
4.2 Оптимизация контура тока	64
4.2.1 Структурная схема и параметры элементов контура	64
4.3 Оптимизация контура потокосцепления	65
4.3.1 Структурная схема и параметры элементов контура	65
4.4 Оптимизация контура скорости	66

4.4.1 Структурная схема и параметры элементов контура	66
5 АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ОДНОМАССОВОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ.....	68
5.1 Контур потокосцепления.....	69
5.2 Контур скорости.....	72
5.3 Имитационная модель нелинейной САУ электропривода механизма подъема	76
5.4 Имитационные исследования частотно–регулируемого асинхронного электропривода механизма подъема крана	81
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	86
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	87
6.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование.....	87
6.1.1 Потенциальные потребители результатов НТП.....	88
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений	88
6.2.3 Состав бригады для проведения пуско-наладочных работ.....	97
6.3 Расчет бюджета проекта по внедрению двухдвигательного электропривода.....	100
6.3.1 Смета затрат на пуско-наладочные работы	100
6.3.2 Расчет расходов при эксплуатации электропривода	101
6.3.3 Расчет амортизационных отчислений	102
6.3.4 Заработная плата обслуживающего персонала	102
6.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды	104
6.3.6 Общая сумма эксплуатационных расходов	104
6.3.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования	104
6.3.8 Интегральный финансовый показатель	105
6.3.9 Интегральный показатель ресурсоэффективности.....	105
6.3.10 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки.....	106
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	109
7. Социальная ответственность	111
7.1. Правовые и организационные вопросы безопасности	111
7.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.	113
7.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	115
7.4 Производственная безопасность.....	118
7.5 Экологическая безопасность.....	120
7.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	125
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	126
Приложение А	128
Приложение Б	129

ВВЕДЕНИЕ

Многие промышленные предприятия, активно использующие электрические грузоподъемные краны, сталкиваются с проблемой несоответствия подъемного оборудования современным техническим требованиям. В кранах, изготавливаемых серийно и находящихся в эксплуатации, привод главного подъема осуществляется двигателями постоянного тока с системой регулирования от полупроводниковых преобразователей или асинхронными двигателями с фазным ротором с параметрическим регулированием за счет изменения сопротивления резисторов, подключаемых к контактным кольцам фазного ротора [1]. Используемое для изменения скорости реостатное регулирование отличается крайне низкой энергетической эффективностью. По некоторым оценкам в электроприводах механизмов подъема до 70 % потребляемой электроэнергии может уходить на обогрев воздуха, причем не только при спуске, но и при подъеме груза [2].

Подавляющее большинство грузоподъемных кранов оборудовано недорогой и привычной для обслуживания системой управления электроприводом на базе релейно–контакторных панелей, которая далека от совершенства, характеризуется зависимостью скорости опускания груза от его массы, негативно влияет на ресурс работы механической части крана и требует значительных расходов по поддержанию работоспособности.

Среди направлений повышения эффективности использования кранового оборудования можно выделить два основных: снижение энергопотребления и повышение надежности. Использование частотно-регулируемого электропривода на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором позволяет решить обе задачи достаточно невысокими затратами и является на сегодняшний день наиболее эффективным способом модернизации кранового оборудования. Преимуществами применения частотно-регулируемого электропривода по сравнению с другими схемами управления двигателями являются:

- повышение качества и значительная рационализация системы управления;
- автоматическое передвижение груза по заданной программе, т.е. введение крана в систему АСУ ТП;
- возможность согласованного действия нескольких кранов по заданной программе, например при монтажно-сборочных работах;
- увеличение надежности и срока службы, как самого привода, так и всех его механизмов;
- упрощение процесса обслуживания;
- экономия электроэнергии;
- создание предпосылок для дальнейшего совершенствования, как самих кранов, так и систем управления: введение дистанционного управления, ликвидация приборов контроля грузоподъемности, снижение передаточного отношения редуктора, ликвидация полиспастов и т.д.

1. ТИПЫ КРАНОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.2.1. Подъемно-транспортные машины и механизмы

Подъемно-транспортные машины и механизмы являются основными средствами механизации и автоматизации погрузо-разгрузочных работ во всех цехах СП.ЭРДЭНЭТ. В связи с интенсификацией технологических процессов, доля времени на подъемно-транспортные операции значительно возросла. Резкое повышение производительности труда, которое крайне необходимо во время перехода экономики на новые условия развития и управления, может быть достигнуто путем механизации и автоматизации подъемно-транспортных и установочных операций, которые менее автоматизированы, чем технологические.

Подъемно-транспортные машины (ПТМ) весьма металлоемки, и следовательно требуют большого количества материальных и трудовых затрат, поэтому необходимо создать мало металлоемкие, совершенные, надежные и рациональные конструкции. Подъемно-транспортное оборудование является неотъемлемой частью практически любой схемы механизации любого производственного процесса, в каждой отрасли экономики. Применением подъемно-транспортных машин достигается ликвидация ручных погрузо-разгрузочных работ и исключение тяжелого труда при выполнении основных и вспомогательных операций.

Мостовыми называются краны, у которых грузоподъемный механизм расположен на тележке, перемещающейся по подвижной пролетной конструкции — мосту, а мост передвигается по рельсам, расположенным на подкрановых балках, опирающихся на консоли колонн здания или колонн специальной эстакады. Мостовые краны используются практически во всех сферах промышленной деятельности человека. Монтажные схемы мостовых кранов допускают их использование, как в закрытых помещениях, так и на открытых местностях при любых условиях окружающей среды. Это обстоятельство способствует тому, что они широко используются на складах, заводах различного профиля и таможенных терминалах. Их недостатком является то, что они привязаны к

зданию или эстакаде и не могут работать без пути, поднятого над обслуживаемой поверхностью; положительно в их конструкции то, что они используют строительную высоту здания.

1.2.2. Конструкции кранов

Конструкция крана включает в себя:

- несущий элемент;
- грузоподъемное устройство, состоящее из гибкого подъемного органа (стального каната или цепи) и грузовой лебедки. Для обеспечения безопасности в работе грузоподъемный механизм оснащается различными ограничителями (грузоподъемности, грузового момента, хода грузозахватного органа); грузозахватный орган, который может быть неавтоматического действия (крюк) (грейфер,)или автоматического действия (электромагнит)

По конструктивным особенностям несущего элемента краны делятся на три основные группы: краны стрелового типа, краны мостового типа, краны кабельного типа.

- Кран стрелового типа: несущим элементом крана стрелового типа является стрела. Грузозахватный орган крана стрелового типа подвешен непосредственно к стреле либо к перемещающейся по стреле грузовой тележке. Разновидности крана стрелового типа: кран стреловой самоходный, кран порталный, кран мачтовый, кран консольный, кран башенный, кран плавучий, кран велосипедный.
- Кран мостового типа: несущим элементом крана мостового типа является балка, выполненная в виде моста. Грузозахватный орган крана мостового типа подвешен к перемещающейся по мосту грузовой тележке или тали. Разновидности крана мостового типа: кран мостовой опорный, кран мостовой подвесной, кран козловой.

- Кран кабельного типа: несущим элементом крана кабельного типа являются закрепленные на двух опорах канаты. Грузозахватный орган крана кабельного типа подвешен к перемещающейся по канатам грузовой тележке. Опоры крана кабельного типа могут быть стационарными или передвижными.

1.3 Режимы работы мостовых кранов

При работе крана происходит постоянное чередование направления движения крана, тележки и крюка. Так, работа механизма подъема состоит из процессов подъема и опускания груза и процессов подъема и опускания пустого крюка. Для увеличения производительности крана используют принцип совмещения операций. Время пауз, в течение которых двигатель не включен и механизм не работает, используется для навешивания груза на крюк и освобождения крюка и для подготовки к следующему процессу работы механизма. Каждый процесс движения, в свою очередь, может быть разделен на периоды неустановившегося движения (в течение которых происходит разгон или замедление движущихся масс груза и механизма) и период движения с установившейся скоростью. Время полного цикла работы механизма грузоподъемной машины складывается из суммы времени пуска $2/p$, суммы времени движения с установившейся скоростью $2/u$, суммы времени торможения $2/t$ и суммы времени пауз $2/0$, т. е. Для мостовых кранов общего назначения с машинным приводом установлены режимы работы: легкий, средний и тяжелый. Для каждого механизма режим работы определяется отдельно, режим работы крана в целом устанавливается по механизму главного подъема. Этот же режим учитывается и при расчете металлоконструкций.

Режимы работы механизмов кранов устанавливаются в зависимости от следующих факторов:

- а) коэффициента использования механизма по грузоподъемности:

б) коэффициента годового использования механизма:

в) коэффициента суточного использования механизма:

Для электрооборудования величина вычисляется для промежутка времени не свыше 10 мин, для механизмов — в течение 1 ч, поэтому можно принимать для электрооборудования $PВ = (10) 100\%$, для механизмов $PВ = (60) 100\%$. Технические характеристики разрабатываемых кранов должны в максимально возможной степени соответствовать будущим условиям их эксплуатации. Поэтому очевидной является необходимость достаточно точного определения режимов их работы — одной из основ для расчета механизмов и металлоконструкций. Этому в значительной степени способствуют статистические наблюдения. Нормативами в зависимости от относительной длительности работы и относительной нагрузки механизмы мостовых кранов делятся на четыре группы. Относительная длительность работы характеризует среднее время работы в часах в течение рабочего дня. Для механизмов, используемых нерегулярно, принимается относительная длительность работы. Три вида относительных нагрузок уточняют характер эксплуатации механизма:

- 1 (легкая) — редкая работа с максимальной нагрузкой или регулярная работа при значительно меньших нагрузках;
- 2 (средняя) — регулярная работа при малых, средних и максимальных нагрузках;
- 3 (тяжелая) — работа с нагрузками, близкими к максимальным. По мере роста парка кранов и повышения требования к их экономичности появилась необходимость в максимальном приспособлении их номенклатуры к разнообразным потребностям отраслей народного хозяйства. Группа режима работы определяется в зависимости от класса использования механизма и класса его нагружения. Класс нагружения механизма определяется величиной коэффициента нагрузки. Производительность — масса груза, в тоннах, переработанная в единицу времени (час, смену, сутки и т. д.) является важнейшим показателем технико-экономических данных крана.

1.4 Определение группы классификации (режим) кранов и механизмов в целом

1. Группы классификации (режима) определяются в соответствии с требованиями ИСО 4301/1.

2. Группа классификации (режима) кранов в целом определяется по табл. 1 в зависимости от класса использования ($U_0—U_9$), характеризующегося величиной максимального числа циклов за заданный срок службы, и режима

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{C_T} \times \frac{P_i}{P_{\max}} \times \frac{1}{m} \text{ нагружения (Q1—Q4).}$$

2.1. Режим нагружения крана характеризуется величиной коэффициента распределения нагрузок K_p , определяемого по формуле

где C_i — среднее число рабочих циклов с частным уровнем массы груза P_i ;

C_T — суммарное число рабочих циклов со всеми грузами:

$$C_T = \sum_{i=1}^n C_i;$$

P_i — значения частных масс отдельных грузов (уровня нагрузки) при типичном применении крана;

P_{\max} — масса наибольшего груза (номинальный груз), который разрешается поднимать краном;

$$m = 3$$

3. Группа классификации (режима) механизмов в целом определяется по табл. 2 в зависимости от класса использования механизма ($T_0—T_9$), характеризующегося общей продолжительностью использования механизма (в часах), и режима нагружения (L1—L4).

3.1. Режим нагружения механизма характеризуется величиной коэффициента распределения нагрузки K_m , определяемого по формуле

$$K_m = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{t_T} \times \frac{P_i}{P_{\max}}^m$$

где t_i — средняя продолжительность использования механизма при частных уровнях нагрузки P_i ;

t_T — общая продолжительность при всех частных уровнях нагрузки;

$$t_T = \sum_{i=1}^n t_i;$$

P_i — значения частных нагрузок (уровни нагрузок), характерных для применения данного механизма;

P_{\max} — значение наибольшей нагрузки, приложенной к механизму;

$m = 3$

Таблица 1

Группы классификации (режима) кранов в целом

Режим нагружения	Коэффициент распределения нагрузок K_m	Класс использования									
		U ₀	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₇	U ₈	U ₉
		максимальное число рабочих циклов									
		1,6 × 10 ⁴	3,2 × 10 ⁴	6,3 × 10 ⁴	1,25 × 10 ⁵	2,5 × 10 ⁵	5 × 10 ⁵	1 × 10 ⁶	2 × 10 ⁶	4 × 10 ⁶	более 4 × 10 ⁶
Q1 - легкий	0,125			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2 - умеренный	0,250		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
Q3 - тяжелый	0,500	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		
Q4 - весьма тяжелый	1,000	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8			

Таблица 2

Группы классификации (режима) механизмов целом

Режим нагружения	Коэффици- ент распре деления нагрузки K_m	Класс использования									
		T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
		общая продолжительность использования, ч									
		200	400	800	1600	3200	6300	12500	25000	50000	100000
L1 - легкий	0,125			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
L2 - умеренный	0,250		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
L3 - тяжелый	0,500	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8		
L4 - весьма тяжелый	1,000	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8			

Современное состояние кранового электрооборудования и электропривода подъемных кранов электрический двигатель постоянного или переменного тока с релейно-контакторным управлением, в котором функции управления, защиты и регулирования скорости осуществляется при помощи различного рода крановых и защитных панелей. Регулирование скорости в таких электроприводах реализуется за счет введения в силовые цепи добавочных сопротивлений.

Основным недостатком такого способа регулирования является его низкая энергоэффективность, особенно при работе на скоростях ниже номинальной. Кроме того, этот способ требует использования двигателя с фазным ротором, если идет речь о приводе переменного тока. Такого рода двигатели, как и двигатели постоянного тока, имеет в составе вращающиеся токоведущие части, что, в свою очередь, требует более тщательного и трудоемкого обслуживания. Кроме того, данный способ не позволяет получить значительного диапазона регулирования скорости. Низкая эффективность использования релейно-контакторной аппаратуры общеизвестна. В настоящее время известны примеры использования более совершенные способы коммутации силовых цепей: тиристорные ключи, твердотельные реле, бездуговая коммутация и т.п. Однако принцип регулирования скорости остается прежний и в основном базируется на использовании асинхронных двигателей с фазным ротором.

В настоящее время самым распространенным двигателем промышленных электроприводов является асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Это самый простой, самый надежный и самый дешевый электродвигатель в широком диапазоне частоты вращения и мощности. Самым эффективным и самым распространенным среди глубоко-регулируемых асинхронных электроприводов является частотно-регулируемый электропривод на основе преобразователя частоты.

Применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода в механизмах подъемно-транспортного оборудования является эффективным

методом повышения технологичности производства. Использование таких приводов позволяет:

1. Значительно (до 40%) снизить энергопотребление крана, что особенно актуально при постоянно растущих тарифах на энергоносители;
2. Осуществить разгон и торможение двигателя плавно, по желаемому закону от времени, при варьировании временем разгона и торможения от долей секунды до десятков минут;
3. Повысить комфортные показатели при движении крана и долговечность механического оборудования благодаря плавности переходных процессов;
4. Защитить двигатель от перегрузок по току, перегрева, утечек на землю и от обрывов в цепях питания двигателей;
5. Снизить эксплуатационные расходы на капитальный ремонт оборудования за счет значительного снижения динамических нагрузок в элементах кинематической цепи;
6. Изменять скорости и ускорения движения механизмов крана применительно к конкретным технологическим задачам.

2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КРАНА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

Большинство грузоподъемных кранов характеризуется постоянно меняющимися условиями использования, поэтому механизмы кранов, имеющие в своем составе электроприводы, должны быть в максимальной степени приспособлены к постоянно видоизменяющейся работе с грузами, разнообразными по массе, размерам, форме, и в условиях производственных помещений или на открытых грузовых площадках. Электропривод механизма главного подъема является наиболее ответственным. Он должен обеспечивать плавное трогание, равномерный подъем и опускание груза, торможение, а также удержание груза в заторможенном состоянии. Обычно для подъема груза используют редукторный привод с полиспастной подвеской. Подъем осуществляется на скоростях не более 1 м/с и при ускорениях 0,1-0,5 м/с². Скоростные параметры определяют производительность механизмов, их энергоемкость и технологические условия работы. Механизмы подъема кранов должны иметь малые установочные и посадочные скорости для обеспечения безопасной посадки грузов и грузозахватных органов либо для снижения нагрузки на механические тормоза в целях обеспечения необходимого уровня их износостойкости. Нагрузка механизма подъема изменяется как по абсолютному значению от номинального до холостого хода, так и по направлению в режиме тяги (подъема) и торможения (спуска). При принятых скоростях подъема [3] во время пуска и торможения в системах привода возникают ударные нагрузки, значительно превышающие номинальные значения, поэтому должны быть предусмотрены специальные меры по их ограничению.

2.1 Электропривод механизма подъема как объект автоматизации

В промышленности большое распространение имеют мостовые краны. Мостовой кран предназначен для погрузочно-разгрузочных работ различных грузов внутри цеха. Данный кран может выполнять погрузочно-разгрузочные работы и вне цеха, что достигается продлением подкрановых путей за пределы цеха. Такая конструкция дает преимущество в том, что можно осуществлять разгрузку оборудования и материалов для производства с транспорта без его заезда в цех. При этом в цехе не нужно оставлять свободное пространство под заезд транспорта, а использовать его под технологический процесс.

Кран является механизмом циклического действия. Цикл работы состоит из перемещения краном груза в требуемое место.

Кинематическая схема механизма представлена на рисунке 1.

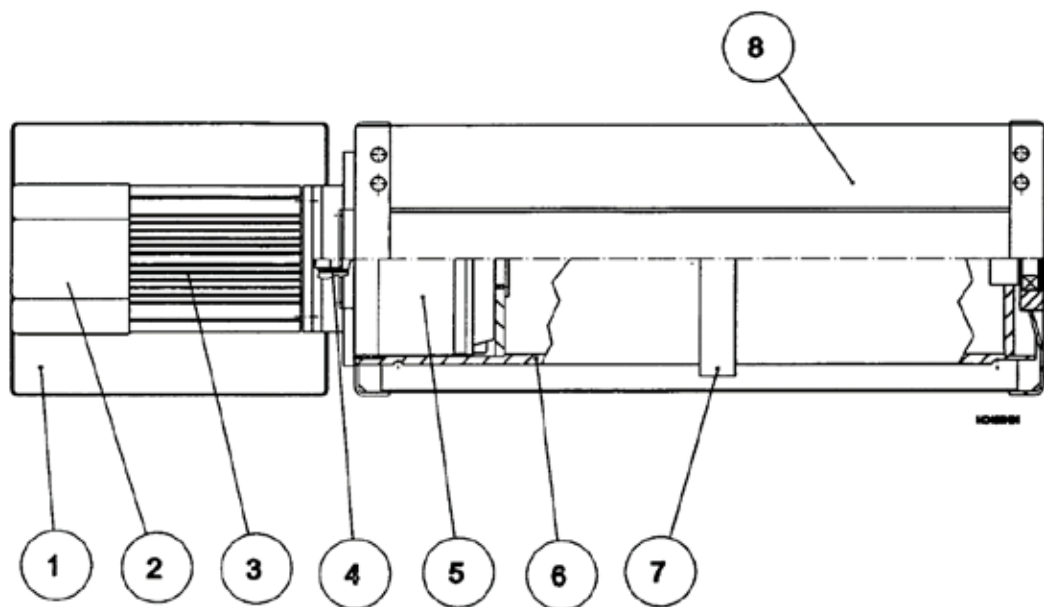


Рисунок 1 – Кинематическая схема электропривода подъема крана:

1 – корпус; 2 – электромагнитный тормоз; 3 – электродвигатель; 4 – муфта;
5 – редуктор; 6 – барабан; 7 – канатоукладчик; 8 – ось барабана

Работа механизма подъема заключается в следующем: питание подается одновременно на электродвигатель 3 и на электромагнитный тормоз 2.

При подаче питания на электромагнитный тормоз он разжимается, и двигатель начинает вращаться. Через муфту 4 вращение передается на редуктор 5.

Редуктор приводит в движение барабан 6. При вращении барабана вдоль него двигается канатоукладчик 7. Канатоукладчик, двигаясь вдоль оси барабана, помогает укладывать каната в пазы барабана. Это необходимо для равномерной укладки каната. В случае если канат будет неравномерно укладываться, возможно, его запутывание и дальнейшая работа будет осложнена.

В данном механизме применен трехступенчатый редуктор с передаточным числом 71. Общий вид редуктора приведен на рисунке 2.

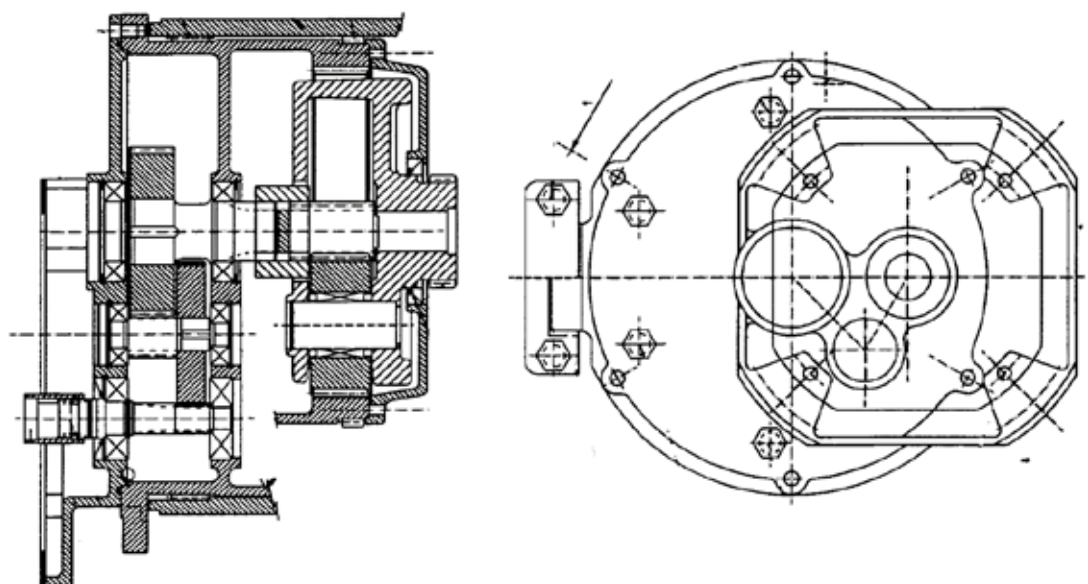


Рисунок 2 – Редуктор механизма подъема крана

2.2 Технические характеристики механизма подъема крана

Кинематическая схема механизма подъема крана приведена на рисунке 3

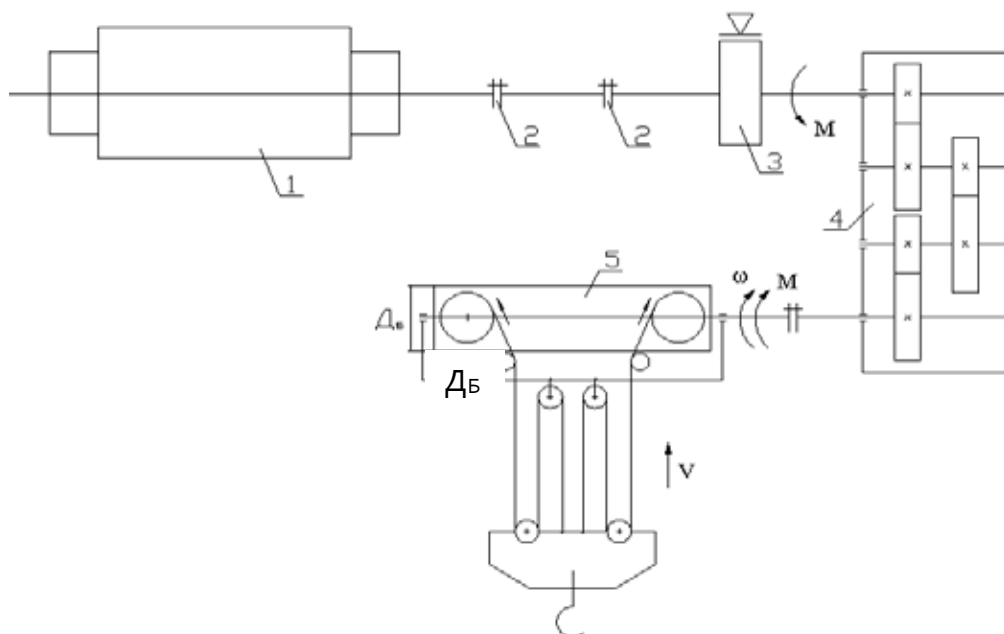


Рисунок 3 – Кинематическая схема механизма подъема крана: 1- двигатель; 2 – муфта; 3 – тормоз; 4 – редуктор; 5 – барабан; 6 – полиспастная система

Параметры механизма подъема крана приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры механизма подъема крана

Наименование, ед. изм.	Обозначение	Значение
Грузоподъемность, т	$m_{гр}$	35
Масса грузозахватывающего устройства, кг	m_y	6350
Высота подъема, м	h	28
Максимальная скорость подъема, м/мин	$V_{макс}$	7,5
Барабан		
Диаметр наивки каната, мм	$D_б$	590
Длина, мм	$L_б$	5040
Канат		
Диаметр, мм	$d_{кан}$	32
Длина, м	$l_{кан}$	28
Разрывное усилие, кН	$F_{к макс}$	263
Полиспастная система		
Количество блоков полиспаста	$a_{пол}$	2
Число ветвей каната полиспаста	$i_{пол}$	3
Редуктор		
Количество ступеней редуктора		3
Передаточное число редуктора	$i_{ред}$	71

Определение дополнительных параметров механизма подъема

Максимальная угловая частота вращения барабана

$$\omega_{б.макс} = \frac{V_{б.макс}}{R_б \times 60} = \frac{2 \times V_{б.макс}}{D_б \times 60} = \frac{2 \times 22,5}{0,59 \times 60} = 1,2712 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (1)$$

где
$$V_{б.макс} = i_{пол} \times V_{макс} = 3 \times 7,5 = 22,5 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Максимальная рабочая угловая частота вращения двигателя

$$\omega_{р.макс} = \omega_{б.макс} \times i_{ред} = 1,2712 \times 71 = 90,25 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2)$$

2.3 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода

Многие промышленные предприятия, активно использующие электрические грузоподъемные краны, сталкиваются с проблемой несоответствия подъемного оборудования современным техническим требованиям. Большинство находящихся в эксплуатации крановых электроприводов выполнено на базе асинхронных двигателей с фазным ротором, которые управляются силовыми контроллерами или низковольтными комплектными устройствами (панелями управления). Основным достоинством таких электроприводов является простота их использования, низкая стоимость и ремонтпригодность. Однако эти электроприводы не лишены и весьма существенных недостатков.

Вот некоторые из них:

- большие потери энергии, обусловленные низким $\cos\phi$ и КПД;
- выход из строя электродвигателей из-за перекосов в роторных цепях, вызванных потерей контактов в цепях сопротивлений или контакторах ускорений;
- ударное изменение момента двигателей, и как следствие динамические перегрузки узлов крана, обусловленные ступенчатым выведением сопротивлений из цепи ротора;

- невозможность получения посадочной скорости в электроприводах механизмов подъема с силовыми контроллерами;
- отсутствие режима силового спуска пустого крюка и легких грузов в электроприводах механизмов подъема с панелями управления;
- отсутствие электрического торможения в электроприводах механизмов передвижения;
- низкая износостойкость релейно-контакторной аппаратуры;
- большие потери энергии при спуске и торможении электроприводов в интенсивном режиме работы.

Зачастую промышленные предприятия, где установлены краны, изменяют технологию производства и номенклатуру выпускаемой продукции, делают перепланировку производственных и складских помещений, краны управляемые из кабины, переводятся на управление с пола по радиоканалу и т.д.

Сегодня наиболее эффективным методом модернизации электрооборудования крана считается использование частотно-регулируемого электропривода [1].

Использование частотно-регулируемых электроприводов обеспечивает следующие преимущества:

- существенное, до 60%, снижение энергопотребления;
- повышение точности и качества регулирования скорости;
- плавность пуска и торможения увеличивают срок службы всех механических элементов, повышают комфортность управления и обеспечивают сохранность груза;
- асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором дешевле и надежнее двигателей с фазным ротором и двухскоростных двигателей.

Встроенные функции преобразователя позволяют легко интегрировать их в электроприводы подъемно-транспортного оборудования. Преобразователь имеет развитую систему диагностики с выдачей сообщения об

ошибках и сбоях на графический терминал. Функция управления тормозом предназначена для выдачи сигнала на открытие тормоза (по достижении двигателем необходимого момента) и сигнала на наложение тормоза (при снижении скорости до минимального уровня). Для корректировки тока снятия тормоза в зависимости от веса груза может использоваться функция весоизмерения, для чего используется внешний датчик груза (например, из состава ограничителя грузоподъемности).

Разгон и торможение приводов с использованием частотного преобразователя осуществляется по S-образному закону, что обеспечивает плавное нарастание моментов и усилий во всех узлах и механизмах крана. Поскольку управляемое торможение выполняет сам электропривод, а тормоз служит для удержания механизма после полной остановки, существенно уменьшается раскачивание груза после остановки. В процессе разгона и/или торможения электропривода возможно изменение времени пуска и торможения внешним сигналом или по достижении определенной выходной частоты преобразователя. Профиль кривых пуска и торможения позволяют выбрать наиболее подходящий для конкретного механизма закон управления скоростью.

Функция позиционирования по конечным выключателям позволяет подключать контакты последних непосредственно к логическим входам преобразователя. Концевые выключатели могут использоваться для предварительного снижения скорости и остановки.

Ограничение момента при векторном управлении позволяет формировать требуемую механическую характеристику, причем для двигательного и генераторного режима работы ограничение момента может задаваться индивидуально.

Сложившаяся практика использования частотного электропривода основывается на том, что электроэнергия, генерируемая двигателем при опускании груза или при торможении инерционного механизма, передается на блоки тормозных сопротивлений и преобразуется в тепловую. Торможение с подключением внешнего резистора получило наибольшее рас-

пространение в электроприводах с преобразователями частоты как отечественного, так и зарубежного производства.

У такого способа торможения есть ряд недостатков. Тормозной резистор подключается к каждому преобразователю частоты, что увеличивает стоимость электропривода и ухудшает массогабаритные показатели установки. Энергия торможения, за исключением потерь в элементах электропривода, выделяется в виде тепловой на тормозном резисторе, что приводит к его значительному нагреву и нерациональному использованию электрической энергии. Альтернативой такому нерациональному использованию энергии является применение модулей рекуперации, которые заменяют резисторы в приводах с длительной работой в генераторном режиме или имеющих большую тормозную мощность, как, например, у подъемных и инерционных механизмов. В этом случае энергия торможения электропривода возвращается в питающую сеть.

Сегодня, с развитием преобразовательной техники, с одной стороны, и постоянно растущими тарифами на электроэнергию, с другой стороны, применение модулей рекуперации становится все более актуальным.

Основные качества (преимущества) модулей рекуперации:

- компактность;
- простой ввод в эксплуатацию без необходимости программирования и настройки;
- возможность подключить к звену постоянного тока нескольких преобразователей частоты;
- возможность параллельного подключения до 4 модулей рекуперации;
- благодаря энергосбережению и с учетом стоимости исключенных из схемы тормозных сопротивлений обеспечивается окупаемость в течении 1–2 лет.

Цена комплекта «частотный преобразователь – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» сопоставима с ценой других решений, как, к примеру «пусковой дроссель двигатель с фазным ротором».

В целом, применение частотно-регулируемого электропривода является наиболее современным решением для кранового электропривода.

3. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

3.1 Выбор электродвигателя и расчет параметров

Частотные преобразователи используются с асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Зачастую разработчики или изготовители кранов, модернизируя крановый электропривод, применяют для частотно-регулируемого электропривода традиционные электродвигатели крановой серии, имеющие роторы специального исполнения, залитые сплавом повышенного сопротивления. Это продиктовано, в первую очередь, требованиями обеспечения повышенного момента в процессе частых пусков. Для создания удовлетворительного теплового режима принимаются специальные меры по снижению кратности пусковых токов, увеличивается расход активных материалов. Все это приводит к увеличению массы и стоимости двигателя. Система изоляции и подшипниковые узлы серийных двигателей не приспособлены для работы с преобразователями частоты, что приводит к преждевременному выходу из строя обмоток статора, выплавлению стержней ротора, разрушению подшипников и датчиков положения, применяющихся в электроприводе главного подъема. Система управления получается нерациональной из-за необходимости применения более мощных преобразователей частоты и двигателей больших габаритов. Очевидно, что для частотно-регулируемого электропривода необходимо применять специальные двигатели [2].

С учетом вышесказанного, для электропривода механизма подъема крана выбираем асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором крановой серии типа 4МТКМF225L6У2, адаптированный для работы от преобразователя частоты.

Структура условного обозначения:

4 – порядковый номер серии;

МТ – обозначение серии;

М – модернизированный;

L – установочный размер по длине станины;

6 – число пар полюсов;

У2 – климатическое исполнение.

F – нагревостойкость системы

Технические данные электродвигателя приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические данные двигателя 4МТКМF225L6У2

Типоразмер двигателя	Мощность P_2 , кВт	Синхронная частота вращения n_0 , об/мин	При номинальной нагрузке		
			частота вращения n_n , об/мин	КПД η_n , %	$\cos\varphi_n$
4МТКМF225L6У2	55	1000	940	87	0,823
M_{\max}	$M_{\text{пуск}}$	$I_{\text{пуск}}$	$J_{\text{дв.}}$ кг·м ²	Степень защиты	Климат. испол.
2200 Н·м	2100 Н·м	820 А	1,02	IP54	У2

П р и м е ч а н и я

1 Технические характеристики приведены для основного режима работы S3 (ПВ = 40 %).

2 Диапазон изменения частоты питания – от 5 до 150 Гц.

3.1.1 Расчетные параметры электродвигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega = \frac{\pi \times n_0}{30} = \frac{\pi \times 1000}{30} = 104,712 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. (3)$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_H = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_0} = \frac{1000 - 940}{1000} = 0,06. (4)$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$\omega_{\text{дв н}} = \frac{n_{\text{ном}}}{9,55} = \frac{940}{9,55} = 98,429 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный ток двигателя

$$I_{1H} = \frac{P_H \times 1000}{3 \times U_{1H} \times \cos \varphi_H \times \eta_H} = \frac{55000}{3 \times 220 \times 0,823 \times 0,87} = 116,386 \text{ A} \quad (5)$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв н}} = \frac{P_H \times 1000}{\omega_{\text{дв.}}} = \frac{55000}{98,429} = 558,777 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (6)$$

Определим кратность максимального и пускового момента двигателя

$$m_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{дв н}}} = \frac{2200}{558,777} = 3,937; (7)$$

$$m_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{дв н}}} = \frac{2100}{558,777} = 3,758 \quad (8)$$

и кратность пускового тока

$$k_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1H}} = \frac{820}{116,386} = 7,046. (9)$$

3.1.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя по каталожным данным

Параметры схемы замещения асинхронного двигателя, приведенной на рисунке 4, определим по методике, изложенной в [4, часть 8]

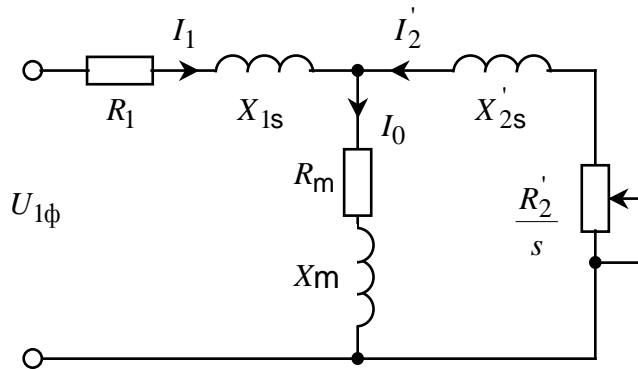


Рисунок 4 – Схема замещения асинхронного двигателя

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H}} \times \frac{1 - s_H}{1 - p^* \cdot \cos \varphi_H} \cdot \frac{\dot{U}}{\dot{\varphi}}^2}{1 - \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H}} \times \frac{1 - s_H}{1 - p^* \cdot \cos \varphi_H} \cdot \frac{\dot{U}}{\dot{\varphi}}^2}} = \sqrt{\frac{93,298^2 - \frac{55000}{3 \cdot 220} \times \frac{1 - 0,06}{1 - 0,75 \times 0,823} \cdot \frac{\dot{U}}{\dot{\varphi}}^2}{1 - \frac{55000}{3 \cdot 220} \times \frac{1 - 0,06}{1 - 0,75 \times 0,823} \cdot \frac{\dot{U}}{\dot{\varphi}}^2}} = 53,911 \text{ A.} \quad (13)$$

Где

$$I_{11} = \frac{P_H \times p^*}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{55000 \times 0,75}{3 \cdot 220 \cdot 0,77 \cdot 0,87} = 93,298 \text{ A} - \text{Ток статора}$$

двигателя при частичной нагрузке

где

p^* – коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p^* = 0,75$;

η_{p^*} – КПД при частичной нагрузке, принимаем $\eta_{p^*} = \eta_H$.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке, согласно [4, часть 8].

$$\cos \varphi_{p^*} = 0,99 \times \cos \varphi_H = 0,99 \times 0,823 = 0,815. \quad (12)$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{A_1}{\frac{\beta}{C_1} + \frac{1}{s_K} \times C_1} = \frac{0,305}{\frac{1}{0,722} \times 1,033} = 0,124 \text{ Ом.} \quad (17)$$

где β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6 - 2,5, принимаем $\beta = 1$.

Определим коэффициенты

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \times k_i \times I_{1H}} = 1 + \frac{53,911}{2 \times 7,046 \times 16,386} = 1,033, \quad (15)$$

$$A_1 = \frac{m \times U_{1H}^2 \times (1 - s_H)}{2 \times C_1 \times k_M \times P_H} = \frac{3 \times 220^2 \times (1 - 0,06)}{2 \times 1,033 \times 3,937 \times 55000} = 0,305. \quad (16)$$

Критическое скольжение

$$s_K = s_H \times \frac{k_M + \sqrt{k_M^2 - (1 - 2 \times s_H \times \beta \times (k_M - 1))}}{1 - 2 \times s_H \times \beta \times (k_M - 1)} = \quad (14)$$

$$= 0,06 \times \frac{3,937 + \sqrt{3,937^2 - (1 - 2 \times 0,06 \times (3,937 - 1))}}{1 - 2 \times 0,06 \times (3,937 - 1)} = 0,722,$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \times R_2' \times \beta = 1,033 \times 0,124 \times 1 = 0,128 \text{ Ом.} \quad (18)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания X_K

$$X_K = \gamma \times C_1 \times R_2' = 0,959 \times 1,033 \times 0,124 = 0,123 \text{ Ом.} \quad (20)$$

Где
$$\gamma = \sqrt{\frac{\frac{\beta}{C_1} \times \frac{1}{s_K^2} - \beta^2}{\frac{\beta}{C_1} \times \frac{1}{0,722^2} - 1^2}} = 0,959, \quad (19)$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1\sigma} = 0,42 \times X_K = 0,42 \times 0,123 = 0,0515 \text{ Ом.} \quad (21)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2\pi \times f_{1H}} = \frac{0,0515}{2\pi \times 50} = 163,925 \times 10^{-6} \text{ Гн.} \quad (22)$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано

$$X'_{2\sigma} = \frac{0,58 \times X_K}{C_1} = \frac{0,58 \times 0,123}{1,033} = 0,069 \text{ Ом.} \quad (23)$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2\pi \times f_{1H}} = \frac{0,069}{2\pi \times 50} = 219,168 \times 10^{-6} \text{ Гн.} \quad (24)$$

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \times \cos \varphi_H - I_{1H} \times R_1)^2 + (U_{1H} \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - I_{1H} \times X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \times 0,823 - 116,386 \times 0,128)^2 + (220 \times \sqrt{1 - 0,823^2} - 116,386 \times 0,0515)^2} = \quad (25) \\ &= 204,373 \text{ В.} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{204,373}{53,911} = 3,791 \text{ Ом.} \quad (26)$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком воздушного зазора, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2\pi \times f_{1H}} = \frac{3,791}{2\pi \times 50} = 12,067 \times 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (27)$$

Параметры схемы замещения асинхронного двигателя сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Параметры схемы замещения асинхронного двигателя

R_1 ,	$X_{1\sigma}$,	$L_{1\sigma}$,	R_2' ,	$X_{2\sigma}'$,	$L_{2\sigma}'$,	X_μ ,	X_k ,	L_μ ,
Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	Гн
0,128	0,0515	$163,9 \cdot 10^{-6}$	0,124	0,069	$219,16 \cdot 10^{-6}$	3,791	0,123	$12,067 \cdot 10^{-3}$

Критический момент и критическое скольжение двигателя на естественной характеристике

$$M_K = 3 \times \frac{U_{1H}^2}{2 \times \omega_0 \times R_1 + \sqrt{[R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2] \times \left(1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2}\right)}} =$$

$$= 3 \times \frac{220^2}{2 \times 104,72 \times 0,128 + \sqrt{[0,128^2 + (0,0515 + 0,069)^2] \times \left(1 + \frac{0,128^2}{3,791^2}\right)}} = \quad (28)$$

$$= 2279,2 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$s_K = R_2' \times \sqrt{\frac{\frac{R_1^2}{X_\mu^2} + 1}{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2}} = 0,124 \times \sqrt{\frac{\frac{0,128^2}{3,791^2} + 1}{0,128^2 + (0,0515 + 0,069)^2}} = 0,706. \quad (29)$$

Номинальный электромагнитный момент двигателя

$$M_{эм} = \frac{3 \times U_{1H}^2 \times R_2'}{\omega_0 \times s_H \times X_k^2 + \frac{R_2'^2}{s_H} + \frac{R_1^2}{s_H} + \frac{R_2'^2}{s_H \times X_\mu^2}} =$$

$$= \frac{3 \times 220^2 \times 0,124}{104,712 \times 0,06 \times 0,123^2 + \frac{0,124^2}{0,06} + \frac{0,128^2}{0,06} + \frac{0,128 \times 0,124^2}{0,06 \times 3,791^2}} = 593,198 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (30)$$

Момент от силы трения на валу электродвигателя

$$DM_{с. \text{тр.}} = M_{\text{в. \text{тр.}}} - M_{\text{в. \text{тр.}}} = 593,198 - 558,777 = 34,421 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (31)$$

Оценим адекватность параметров модели и справочных и полученных расчетных параметров электродвигателя. Параметры двигателя, соответствующие справочным данным:

$$I_{\text{дв.н}} = I_{1\text{фн.}} = 116,386 \text{ А};$$

$$M_{\text{дв н}} = 558,777 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Параметры двигателя расчетные:

$$I_0 = 53,911 \text{ А};$$

$$M_{\text{эмн}} = 593,198 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

За основные параметры электродвигателя примем значения номинального тока $I_{1\text{фн.}} = 116,386 \text{ А}$ и номинального электромагнитного момента $M_{\text{эмн}} = 593,198 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Находятся значения номинального потокосцепления ротора через номинальный электромагнитный момент и расчетные параметры двигателя.

$$\mathcal{U}_{2\text{н}(1)} = \frac{M_{\text{эмн}}}{\frac{3}{2} \times z_p \times \frac{L_m}{(L_m + L_{2d})} \times \sqrt{2} \times \sqrt{I_{1\text{фн.}}^2 - I_0^2}}; (34)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{U}_{2\text{н}(1)} &= \frac{593,421}{\frac{3}{2} \times 3 \times \frac{12,067 \times 10^{-3}}{(12,067 \times 10^{-3} + 219,168 \times 10^{-6})} \times \sqrt{2} \times \sqrt{116,386^2 - 53,911^2}} = \\ &= 0,92 \text{ Вб}; \end{aligned}$$

$$\mathcal{U}_{2\text{н}(2)} = \sqrt{2} \times I_0 \times I_m \quad (35)$$

$$\mathcal{U}_{2\text{н}(2)} = \sqrt{2} \times 53,911 \times 2,067 \times 10^{-3} = 0,92 \text{ Вб}.$$

$$\mathcal{U}_{2\text{н}(1)} = \mathcal{U}_{2\text{н}(2)}.$$

3.1.3 Расчет и построение естественной механической и электро-механической характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя рассчитывается, согласно [5] по выражениям:

$$M(S, f_1) = \frac{3 \times U_{1\Phi H}^2 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times \frac{\omega^2}{\omega_0} \times R_2'}{\omega_0 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times S \times \frac{X_{KH}}{X_{\mu}} \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times \frac{\omega^2}{\omega_0} + \frac{R_1}{S} + \frac{R_2'}{S} + \frac{R_1 \times R_2'}{S \times X_{\mu} \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times \frac{\omega^2}{\omega_0}}} =$$

$$= \frac{3 \times 220^2 \times \frac{f_1}{50} \times \frac{\omega^2}{0,124}}{104,71 \times \frac{f_1}{50} \times S \times 0,123 \times \frac{f_1}{50} \times \frac{\omega^2}{\omega_0} + 0,128 + \frac{0,124}{s} + \frac{0,128 \times 0,124}{s \times 3,791 \times \frac{f_1}{50} \times \frac{\omega^2}{\omega_0}}}; \quad (36)$$

$$\omega(s, f) = \omega_0 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times (1 - s).$$

Естественная механическая характеристика двигателя $\omega = f(M)$ при $f_1 = f_{1H} = 50$ Гц приведена на рисунке 5.

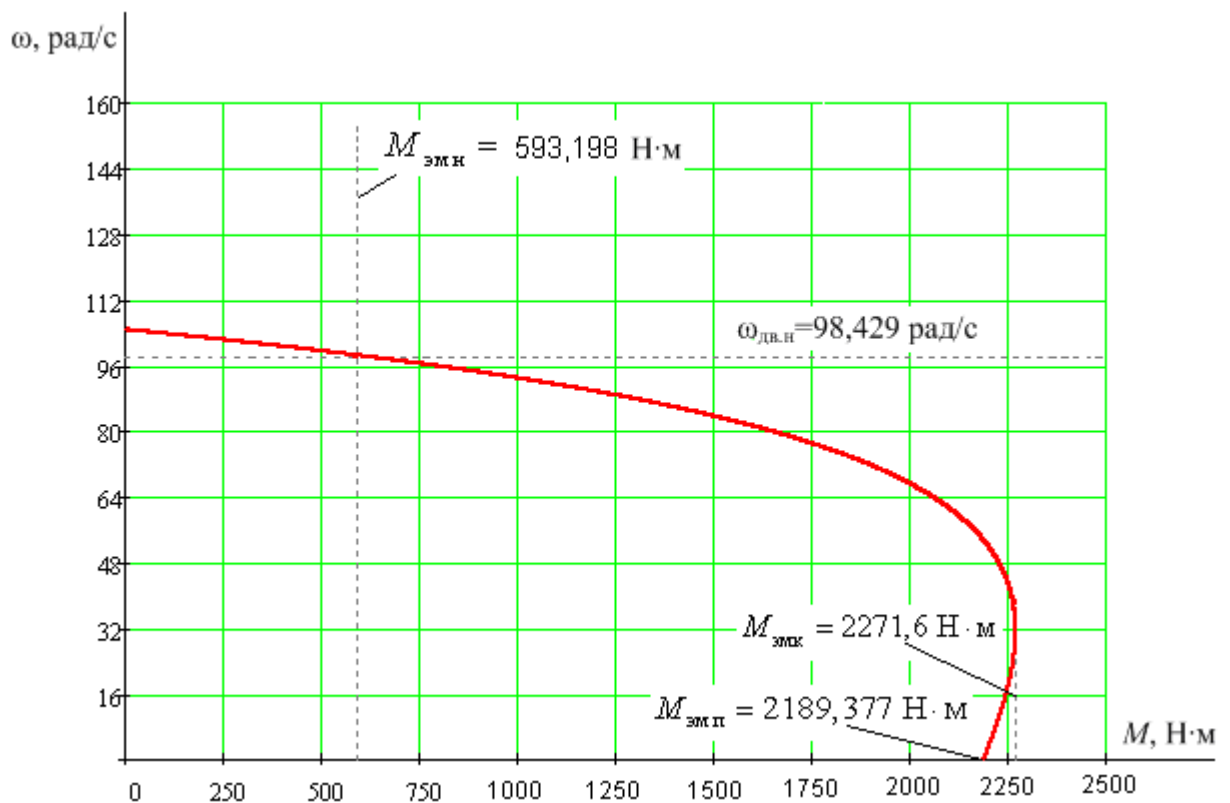


Рисунок 5 – Естественная механическая характеристика АД

По результатам расчета механической характеристики найдены значения электромагнитных моментов двигателя: номинального

$M_{\text{эмн}} = 593,198 \text{ Н} \cdot \text{м}$; пускового $M_{\text{эмп}} = 2189,377 \text{ Н} \cdot \text{м}$; критического

$M_{\text{эмк}} = 2271,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $\omega_{\text{к}} = 31,24 \text{ рад/с}$.

По полученным результатам определяем

– кратность пускового момента

$$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{эмп}}}{M_{\text{эмн}}} = \frac{2189,377}{593,198} = 3,691; (37)$$

– кратность максимального (критического) момента

$$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{эмк}}}{M_{\text{эмн}}} = \frac{2271,6}{593,198} = 3,829; (38)$$

– критическое скольжение

$$s_{\text{к}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{к}}}{\omega_0} = \frac{104,7 - 31,24}{104,7} = 0,702. (39)$$

Естественные электромеханические характеристики двигателя

$I_1(s, f_1)$ и $I_2'(s, f_1)$ рассчитываются по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \times I_0(f_1) \times I_2'(s, f_1) \times \sin \varphi_2(s, f_1)}; (40)$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2'}{s} + X_K \times \frac{f_1}{f_{1H}} + \frac{R_1 \times R_2'}{s \times X_\mu \times \frac{f_1}{f_{1H}}}}} =$$

$$= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{0,128 + \frac{0,124}{s} + 0,123 \times \frac{f_1}{50} + \frac{0,128 \times 0,124}{s \times 3,791 \times \frac{f_1}{50}}}}; (41)$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \times \frac{f_1}{f_{1H}}}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,128^2 + (0,0515 + 3,791)^2 \times \frac{f_1}{f_{1H}}}}; (42)$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \times X_K}{\sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2'}{s} + X_K \times \frac{f_1}{f_{1H}}}} = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \times 0,123}{\sqrt{0,128 + \frac{0,124}{s} + 0,123 \times \frac{f_1}{f_{1H}}}}; (43)$$

$$\omega(s, f) = \omega_0 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times (1 - s). (44)$$

По результатам расчета на рисунке 6 построены естественные электромеханические характеристики $\omega(I_1)$, $\omega(I_2')$ при $f_1 = f_{1H} = 50$ Гц.

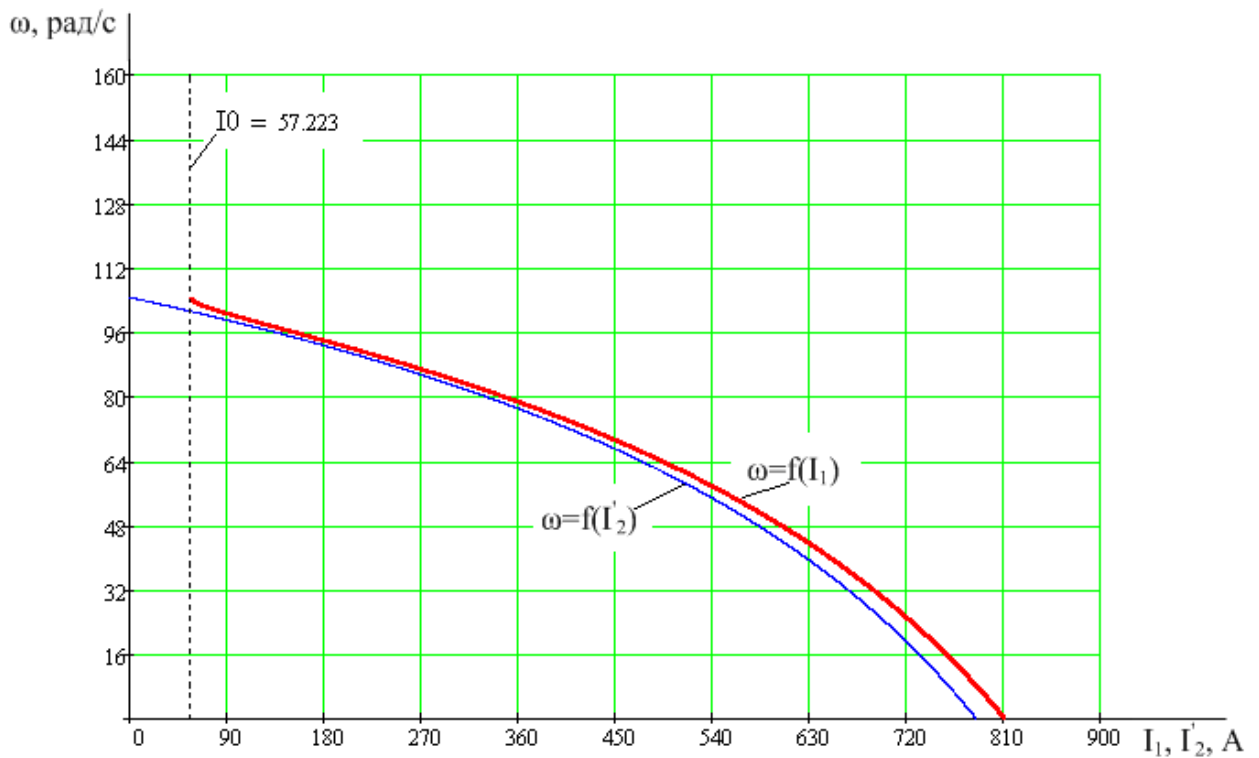


Рисунок 6 – Естественные электромеханические характеристики АД

$$\omega(I_1), \omega(I_2')$$

По результатам расчета электромеханической характеристики $\omega(I_1)$ найдены значения тока холостого хода (намагничивания) $I_0 = 57,223 \text{ A}$, номинального тока $I_n = 118,090 \text{ A}$ и пускового тока двигателя $I_{\text{п}} = 812,188 \text{ A}$.

По полученным результатам определяем кратность пускового тока

$$k_i = \frac{I_{\text{п}}}{I_n} = \frac{812,188}{118,09} = 6,878. (45)$$

Параметры расчетных механической и электромеханической характеристик двигателя оказались близки к приведённым в таблице 1 справочным параметрам двигателя.

3.1.4 Механическая система электропривода подъема

Расчетная схема механической системы электропривода подъема представляет собой, согласно [6], двухмассовую систему, представленную на рисунке 7, где приняты следующие обозначения:

J_1 – момент инерции двигателя и механизма;

J_2 – момент инерции поднимаемых масс;

$M_{\text{эм}}$ – электромагнитный момент двигателя;

M_c – момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы;

$M_{\text{с.нагр.}}$ – момент нагрузки, развиваемый грузом, активный по характеру;

c_{12} – эквивалентная угловая жесткость;

b_{12} – эквивалентный коэффициент внутреннего демпфирования.

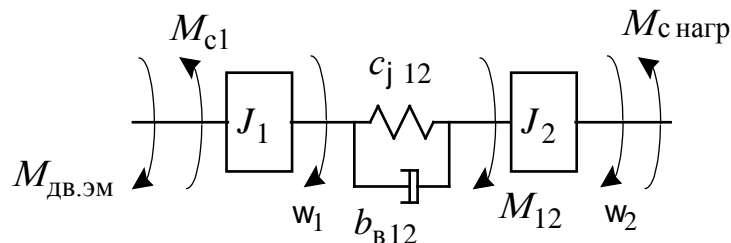


Рисунок 7 – Расчетная схема механической системы привода подъема

3.1.5 Параметры элементов механической системы привода

Момент инерции на валу первой массы

$$J_1 = J_{\text{дв}} + J_{\text{мех}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{т}} + J_{\text{пер}} = 1,02 + 0,153 + 0,102 = 1,275 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad (46)$$

где

$J_{\text{дв}} = 1,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент инерции двигателя;

$J_{\text{т}} = 0,15 \cdot 1,02 = 0,153 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент инерции тормоза;

$J_{\text{пер}} = 0,1 \cdot 1,02 = 0,102 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент инерции передачи.

Момент инерции на валу второй массы при подъеме пустого грузозахватного устройства

$$J_{2\text{мин}} = J_{\text{м1}} + J_{\text{кан}} = 0,01218 + 0,00104 = 0,01322 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (47)$$

где

$$J_{m1} = m_y \times \frac{D_6^2}{8} \times \frac{1}{i_{ред}^2 \times i_{пол}^2} = 6350 \times \frac{0,59^2}{8} \times \frac{1}{71^2 \times 3^2} = 0,01218 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. - \text{мо-}$$

мент инерции грузозахватного устройства;

$$J_{кан} = m_{кан} \times \frac{D_6^2}{8} \times \frac{1}{i_{ред}^2 \times i_{пол}^2} = 539,489 \times \frac{0,59^2}{8} \times \frac{1}{71^2 \times 3^2} = 0,00104 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 -$$

момент инерции каната;

$$m_{кан} = 2 \times \rho_{ст} \times s_{кан} \times l_{кан} = 2 \times 7,8 \times 10^3 \times 4,021 \times 10^{-4} \times 86 = 539,489 \text{ кг} - \text{масса каната};$$

$$\rho_{ст} = (7,7 - 7,9) \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} - \text{удельный вес стали, принимаем } \rho_{ст} = 7,8 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2};$$

$$s_{кан} = \pi \times \frac{d_{кан}^2}{8} \times k_{зап} = \pi \times \frac{2 \times 10^{-3}}{8} \times 0,5 = 4,021 \times 10^{-4} \text{ м}^2 - \text{площадь се-}$$

чения проволок.

Момент инерции на валу второй массы при подъеме максимального груза

$$J_{2\text{макс}} = J_{m2} + J_{кан} = 0,07932 + 0,00104 = 0,08035 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, (48)$$

где

$$J_{m2} = (m_y + m_{гр}) \times \frac{D_6^2}{8} \times \frac{1}{i_{ред}^2 \times i_{пол}^2} = (35000 + 6350) \times \frac{0,59^2}{8} \times \frac{1}{71^2 \times 3^2} = 0,07932 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

– момент инерции поднимаемых масс при подъеме максимального груза.

Линейная жесткость подъемного каната (в нижнем положении)

$$c_l = a_{пол} \times i_{пол} \times \frac{c_{кан}}{l_{кан}} = 2 \times 3 \times \frac{5,027 \times 10^7}{86} = 3,507 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, \quad (49)$$

где $c_{кан} = E_{кан} \times s_{кан} = 1,25 \times 10^{11} \times 4,021 \times 10^{-4} = 5,027 \times 10^7 \text{ Н}$ – жесткость одного погонного метра каната;

$E_{кан} = (1,1 - 1,4) \times 10^{11}$ - модуль упругости для стального каната, принимаем $E_{кан} = 1,25 \times 10^{11} \text{ Н/м}^2$.

Приведенная угловая жесткость (в нижнем положении)

$$c_{12} = c_I \times \frac{D_6}{2} \times \frac{1}{i_{ред}^2} \times \frac{1}{i_{пол}^2} = 3,507 \times 10^6 \times \frac{0,59}{2} \times \frac{1}{71^2} \times \frac{1}{3^2} = 6,727 \frac{\text{Н} \times \text{м}}{\text{рад}} \times \quad (50)$$

Минимальное значение угловой частоты резонансных колебаний

ДМС

$$\omega_{12} = \sqrt{c_{12} \times \frac{J_1 + J_{2\text{макс}}}{J_1 \times J_{2\text{макс}}}} = \sqrt{6,727 \times \frac{1,275 + 0,08035}{1,275 \times 0,08035}} = 9,434 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (51)$$

Коэффициент внутреннего демпфирования (в нижнем положении)

$$b_{в12} = \frac{\lambda_{в} \times c_{12}}{\pi \times \omega_{12}} = \frac{(0,1, 0,2) \times 6,727}{\pi \times 9,434} = 0,023, 0,045. \quad (52)$$

Принимаем $b_{в12} = 0,03$

Структурная схема двухмассовой механической системы

электропривода механизма подъема приведена на рисунке 8.

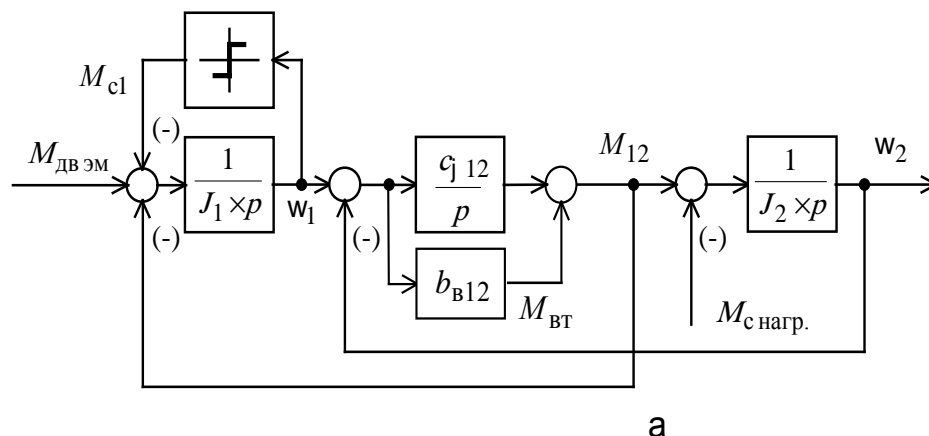


Рисунок 8 – Структурная схема двухмассовой механической системы электропривода механизма подъема

3.1.6 Определение заданной области работы

Момент сопротивления на валу двигателя

$$M_{с.дв.} = M_{эм} - M_{дв.н.} = 593,198 - 558,777 = 34,422 \text{ Н} \times \text{м}. \quad (53)$$

КПД передачи в номинальном режиме [3]

$$\eta_{пер.н.} = \eta_{кан} \times \eta_{укл} \times \eta_{ред} = 0,98 \times 0,98 \times 0,84 = 0,81, \quad (54)$$

где $\eta_{\text{кан}} = 0,98$ - КПД блока канатной передачи;

$\eta_{\text{укл}} = 0,98$ - КПД канатоукладчика;

$\eta_{\text{ред}} = 0,84$ - КПД трехступенчатого редуктора.

Коэффициенты постоянных и переменных потерь

$$a = b = \frac{1 - \eta_{\text{пер.н.}}}{2 \times \eta_{\text{пер.н.}}} = \frac{1 - 0,81}{2 \times 0,81} = 0,11728. (55)$$

Приведенный к валу двигателя момент, обусловленный грузом

– при максимальном грузе

$$M_{\text{гр.макс}} = \frac{(G_{\text{гр}} + G_y) \times D_6}{2 \times i_{\text{ред}} \times i_{\text{пол}}} = \frac{(343350 + 62293,5) \times 0,59}{2 \times 71 \times 3} = 561,8 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (56)$$

где $G_{\text{гр}} = m_{\text{гр}} \times g = 35000 \times 9,81 = 343350 \text{ Н}$ - вес груза максимальный;

$G_y = m_y \times g = 6350 \times 9,81 = 62293,5 \text{ Н}$ - вес грузозахватывающего

устройства.

– при пустом крюке

$$M_{\text{гр.мин}} = \frac{G_{\text{гр}} \times D_6}{2 \times i_{\text{ред}} \times i_{\text{пол}}} = \frac{62293,5 \times 0,59}{2 \times 71 \times 3} = 86,27 \text{ Н} \cdot \text{м}. (57)$$

Величина постоянных потерь в механизме

$$M_{\text{с.пост}} = a \times M_{\text{гр.макс}} = 0,11728 \times 561,8 = 65,89 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (58)$$

Момент трения на валу первой массы двухмассовой электро-механической системы при максимальном грузе

$$M_{\text{с}} = M_{\text{с.дв.}} + M_{\text{с.пост}} = 34,422 + 65,89 = 100,312 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (59)$$

Статические моменты

– при подъеме максимального груза

$$\begin{aligned} M_{\text{с1макс}} &= M_{\text{с.дв.}} + M_{\text{с.пост}} + (1 + b) \times M_{\text{гр.макс}} = \\ &= 34,422 + 65,89 + (1 + 0,11728) \times 561,8 = 728,01 \text{ Н} \cdot \text{м}; \end{aligned} \quad (60)$$

– при подъеме пустого грузозахватывающего устройства

$$\begin{aligned} M_{\text{с1мин}} &= M_{\text{с.дв.}} + M_{\text{с.пост}} + (1 + b) \times M_{\text{гр.мин}} = \\ &= 34,422 + 65,89 + (1 + 0,11728) \times 86,27 = 196,706 \text{ Н} \cdot \text{м}; \end{aligned} \quad (61)$$

– при спуске максимального груза

$$M_{с2\max} = - M_{с.дв.} - M_{с.пост} + (1 - b) \times M_{гр.\max} = \quad (62)$$

$$= - 34,422 - 65,89 + (1 - 0,11728) \times 561,8 = 395,603 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при спуске пустого грузозахватывающего устройства

$$M_{с2\min} = - M_{с.дв.} - M_{с.пост} + (1 - b) \times M_{гр.\min} = \quad (63)$$

$$= - 34,422 - 65,89 + (1 - 0,11728) \times 86,27 = - 24,156 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Заданная область работы приведена на рисунке 9.

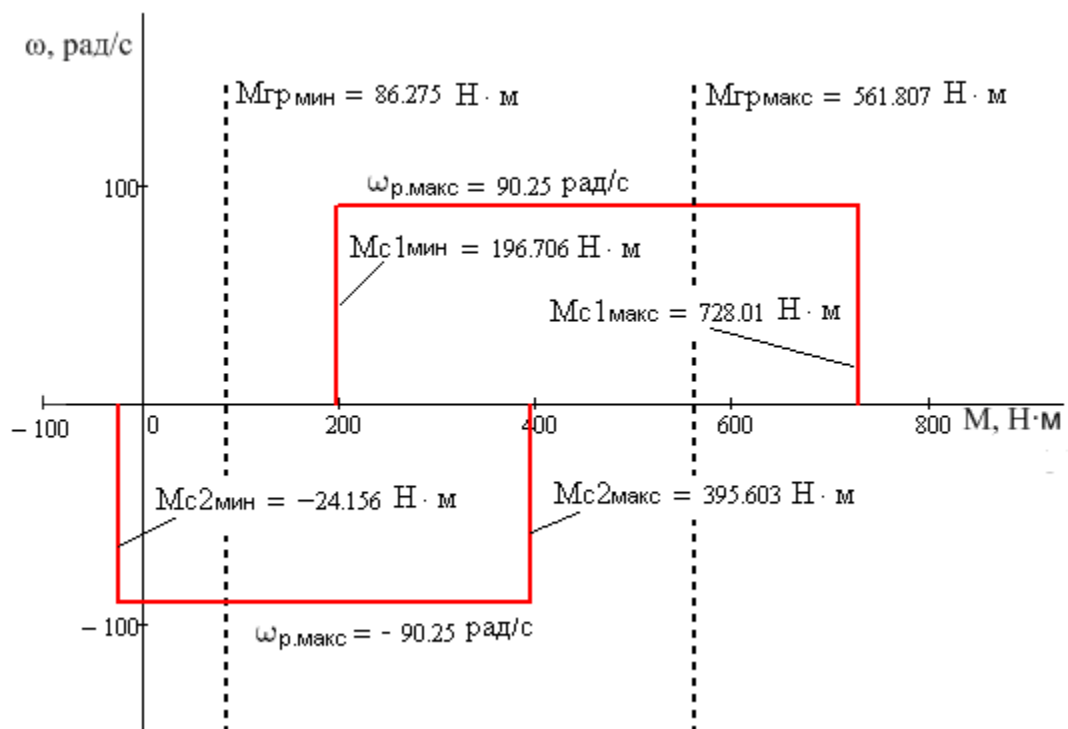


Рисунок 9 – Заданная область работы электропривода

3.2. Расчет предельных характеристик разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель

3.2.1. Определение максимальной и минимальной частоты инвертора

Максимальную рабочую частоту инвертора, соответствующую максимальной рабочей скорости $\omega = \omega_{p.макс} = 90,254$ рад/с при максимальной нагрузке $M = M_{с1макс} = 728,01$ Н·м, определяем путем решения относительно частоты f_1 уравнение, согласно [7]:

$$M = \frac{3 \times U_{1фн}^2 \times \frac{f_1}{f_{1н}} \times \frac{\omega_0^2}{\omega^2} \times R'_2}{\omega_0 \times \frac{f_1}{f_{1н}} - \omega \times \frac{f_1}{f_{1н}} \times X_{кн} \times \frac{f_1}{f_{1н}} + \frac{R'_2}{\omega_0 \times \frac{f_1}{f_{1н}} - \omega \times \frac{f_1}{f_{1н}}} \times \omega_0 \times \frac{f_1}{f_{1н}}}; \quad (64)$$

Принимаем ближайшее целое значение частоты инвертора $f_{имакс} = 47$ Гц.

Минимальную рабочую частоту инвертора определяем из условия обеспечения заданного диапазона регулирования скорости $D=10$:

$$f_{имин} = \frac{f_{имакс}}{D} = \frac{47}{10} = 4,7 \text{ Гц.}$$

Принимаем $f_{имин} = 5$ Гц.

3.3 Расчет механических и электромеханических характеристик разомкнутой системы

Механическая характеристика $M = f(s, f_1)$ разомкнутой системы ПЧ-АД при частотном регулировании рассчитана по выражению (1) для значения выходной частоты инвертора $f_1 = f_{\text{имакс}} = 47$ Гц и приведена на рисунке 10.

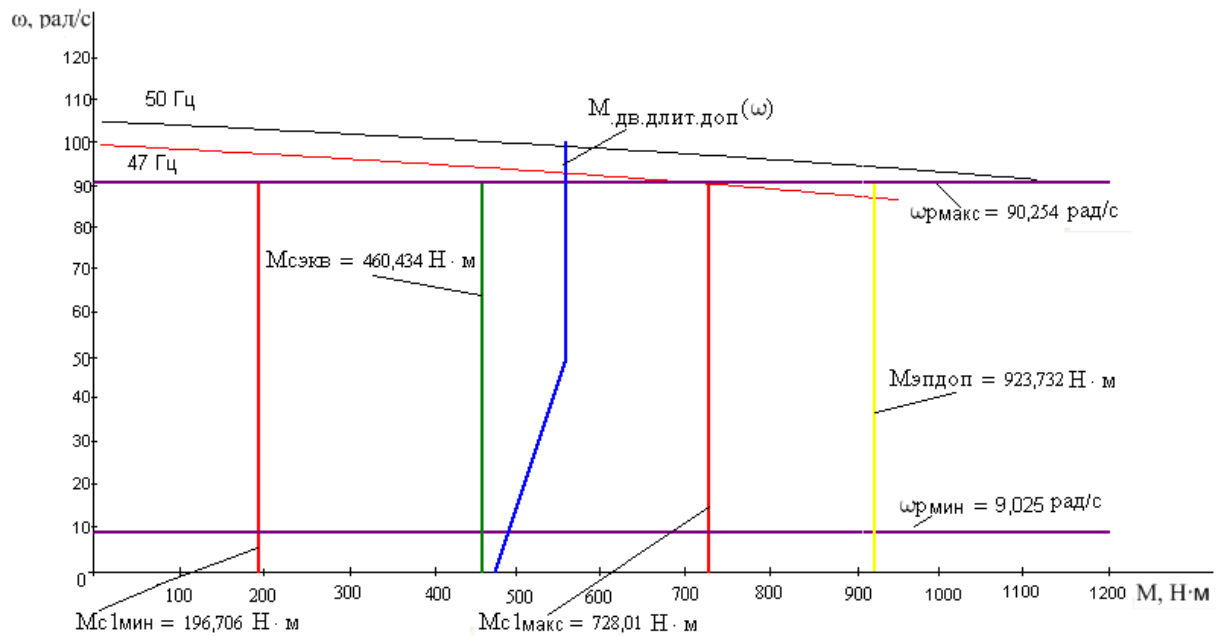


Рисунок 10 – Механические характеристики разомкнутой системы электропривода и нагрузки

Электромеханическая характеристика $I_1 = f(s, f_1)$ разомкнутой системы ПЧ-АД при частотном регулировании рассчитана по выражениям (2)–(5) для частоты $f_1 = f_{\text{имакс}} = 47$ Гц приведена на рисунке 11 в виде зависимости $w = f(I_1)$.

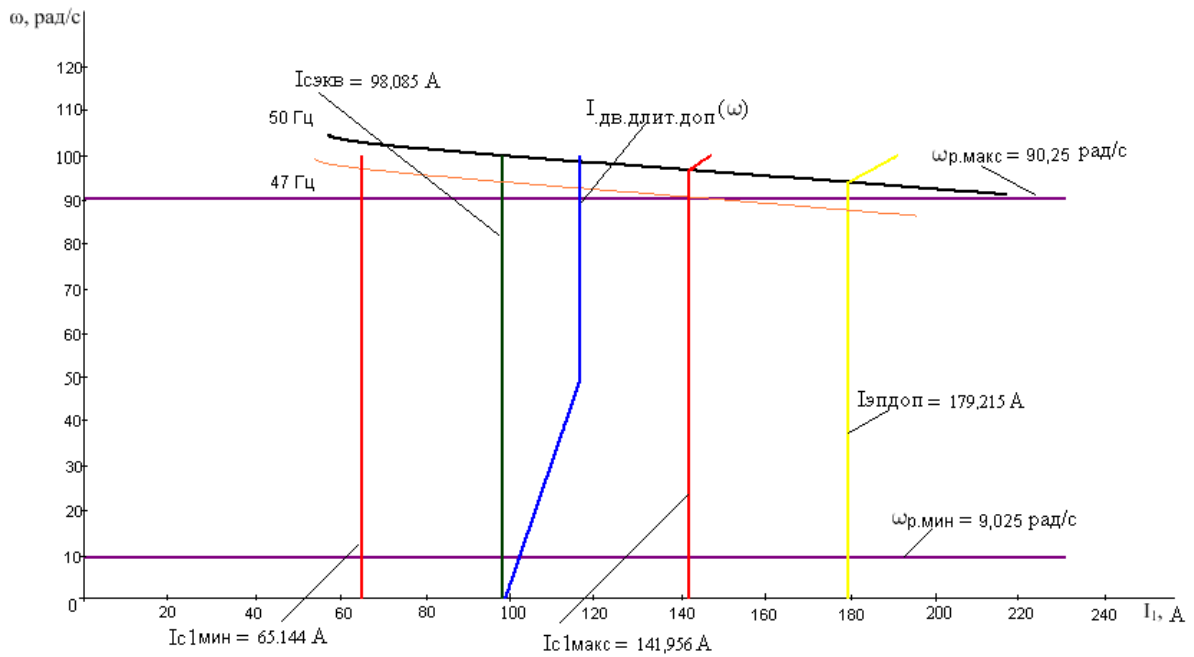


Рисунок 11 – Электромеханические характеристики разомкнутой системы электропривода и нагрузки

Проверка правильности выбора электродвигателя

Рассчитаны и построены в плоскости механических характеристик $w = f(M)$ (рисунок 10) следующие характеристики:

– характеристика максимального статического момента при подъеме максимального груза $M_{c1\max}(w) = \text{const} = 728,01 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

– характеристика минимального статического момента при подъеме минимального груза $M_{c1\min}(w) = \text{const} = 196,71 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

– характеристика эквивалентного статического момента

$$M_{c1\text{экв}}(w) = \text{const} = M_{c1\max} \times \sqrt{\text{ПВ}} = 728,01 \times \sqrt{0,4} = 460,434 \text{ Н} \cdot \text{м}, (65)$$

где ПВ=0,4 – продолжительность включения [3];

– характеристика максимального динамического момента электропривода, $M_{\text{эп доп}}(w) = \text{const}$, рассчитанная из условия ограничения ускорения на допустимом уровне:

$$M_{\text{эп доп}}(w) = \text{const} = M_{c1\max} + M_{\text{дин доп}} = 728,01 + 195,722 = 923,732 \text{ Н} \cdot \text{м}, (66)$$

где $a_{\text{доп}} = 0,2 - 0,3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ - допустимое ускорение [3], принимаем $a_{\text{доп}} = 0,2 \text{ м/с}^2$;

$$M_{\text{дин доп}}(\omega) = J_{\text{э}} \times a_{\text{доп}} \times \frac{\omega_{\text{раб макс}}}{V_{\text{макс}}} = 1,355 \times 0,2 \times \frac{90,25 \times 60}{7,5} = 195,722 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– характеристика длительно допустимого момента двигателя

$$M_{\text{дв. дл. доп}}(\omega):$$

$$M_{\text{дв. дл. доп}}(\omega) = M_{\text{дв. н}} \times 0,85 + \frac{0,15 \times \omega}{0,5 \times \omega_{\text{дв. н}}}, \text{ при } \omega \leq 0,5 \times \omega_{\text{дв. н}};$$

$$M_{\text{дв. дл. доп}}(\omega) = M_{\text{дв. н}}, \text{ при } 0,5 \times \omega_{\text{дв. н}} < \omega < \omega_{\text{дв. н}}.$$

Рассчитаны и построены в плоскости электромеханических характеристик $w = f(I_1)$ (рисунок 11) следующие характеристики:

– характеристика статического тока $I_{\text{с1 макс}}(w) = \text{const} = 141,95 \text{ А}$, соответствующая статическому моменту при подъеме максимального груза, рассчитанная по выражениям (40)–(43) при $f_1 = f_{1\text{н}} = 50 \text{ Гц}$ для значения скольжения $s=0,7675$, определенного путем решения уравнения (67) при

$$M = M_{\text{с1 макс}} = 728,01 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M = \frac{3 \times U_{1\text{фн}}^2 \times R_2'}{\omega_0 \times s \times X_{\text{кн}}^2 + \frac{R_1'}{s} + \frac{R_2' \times \omega^2}{s} + \frac{R_1' \times R_2' \times \omega^2}{s \times X_{\mu}}}; \quad (67)$$

– характеристика статического тока $I_{\text{с1 мин}}(w) = \text{const} = 42,9 \text{ А}$, соответствующая статическому моменту при подъеме минимального груза, рассчитанная по выражениям (40)–(43) при $f_1 = f_{1\text{н}} = 50 \text{ Гц}$ для значения скольжения $s=0,01731$, определенного путем решения уравнения (67) при

$$M = M_{\text{с1 мин}} = 196,71 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– характеристика эквивалентного статического тока

$I_{\text{с экв}}(w) = \text{const} = 98,085 \text{ А}$, соответствующая эквивалентному статическому моменту, рассчитанная по выражениям (40) – (43) при $f_1 = f_{1\text{н}} = 50 \text{ Гц}$ для значения скольжения $s=0,04559$, определенного путем решения уравнения (67) при $M = M_{\text{с экв}} = 460,434 \text{ Н} \cdot \text{м};$

– характеристика длительно допустимого тока двигателя

$I_{\text{дв.дл.доп}}(\omega)$:

$$I_{\text{дв.дл.доп}}(\omega) = I_{\text{дв.н}} \times \left(0,85 + \frac{0,15 \times \omega}{0,5 \times \omega_{\text{дв.н}}} \right) \text{ при } \omega \leq 0,5 \times \omega_{\text{дв.н}};$$

$$I_{\text{дв.дл.доп}}(\omega) = M_{\text{дв.н}}, \text{ при } 0,5 \times \omega_{\text{дв.н}} < \omega < \omega_{\text{дв.н}}.$$

– характеристика максимально допустимого тока электропривода

$I_{\text{эл.доп}}(\omega) = \text{const} = 179,215 \text{ А}$, соответствующая максимальному

динамическому моменту, рассчитанная по выражениям (40)-(43) при

$f_1 = f_{1\text{н}} = 50 \text{ Гц}$ для значения скольжения $s=0,10305$, определенного путем решения уравнения (67) при $M = M_{\text{эл.доп}} = 923,732 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Анализ, приведенных на рисунках 10 и 11, механических и электромеханических характеристик электропривода и нагрузки показывает, что

$$I_{\text{дв.дл.доп}}(\omega) > I_{\text{с экв}};$$

$$M_{\text{дв.дл.доп}}(\omega) > M_{\text{с экв}},$$

следовательно, при выбранном электродвигателе асинхронный частотно-регулируемый электропривод обеспечивает заданный диапазон регулирования скорости.

3.4 Выбор преобразователя частоты

Для кранового частотно-регулируемого электропривода требуются преобразователи частоты, специально адаптированные к применению в грузоподъемных кранах и обладающие необходимыми функциональными возможностями:

– функция управления тормозом предназначена для выдачи сигнала на открытие тормоза при достижении двигателем необходимого момента и сигнала на наложение тормоза при снижении скорости до минимального

уровня. Для корректировки снятия тормоза может использоваться функция весоизмерения.

- функция подъема с повышенной скоростью. Максимальная скорость подъема определяется автоматически в зависимости от массы груза.

- функция ограничения момента электродвигателя с формированием желаемой механической характеристики в двигательном и генераторном режимах.

- функция формирования заданного темпа разгона и торможения.

- функция торможения электропривода с использованием тормозного резистора или блока рекуперации. Экономический эффект от внедрения модулей рекуперации увеличивается: с увеличением мощности электроприводов, при резких торможениях инерционных механизмов, а также при опускании груза на большую глубину (лифты, шахтные подъемники). Учитывая сложившееся мнение о низкой эффективности рекуперации для систем с током потребления до 100 А [1, 2], а также относительно высокую стоимость модулей рекуперации и сложность внедрения, принято решение использовать тормозной резистор.

3.5 Параметры преобразователя частоты

С учетом перечисленных выше требований выбираем преобразователь частоты *Altivar 71 HD75N4*, предназначенный для кранового электропривода.

Параметры преобразователя частоты сведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходная частота	Выходной ток	
	$U_{л}, В$	$f_c, Гц$	$f_{и}, Гц$	$I_{ин}, А$	$I_{ин макс}, А (60 с)$
<i>Altivar 71 HD75N4</i>	380-480	50/60	0-120	160	240

Общие технические данные преобразователя частоты серии *Altivar 71*
HD75N4:

- питающая сеть: $(380-480) \text{ В} \pm 10\%$; $(50-60) \text{ Гц} \pm 5\%$, 3 фазы;
- диапазон регулирования скорости;
- разомкнутая система, векторное управление s_H , 100% ;
- замкнутая система, векторное управление 0, 100% ;
- максимальная погрешность поддержания частоты вращения (разомкнутая система) $0,01 \times \omega_H$ в диапазоне скоростей $0,1 \times \omega_H < \omega \leq \omega_H$ и $1/3 \times \omega_H$ в диапазоне скоростей $0,1 \times \omega_H < \omega \leq \omega_H$;
- тепловая защита преобразователя частоты осуществляется с помощью термосопротивления, установленного на радиаторе или встроенного в силовой модуль (рисунок 12);

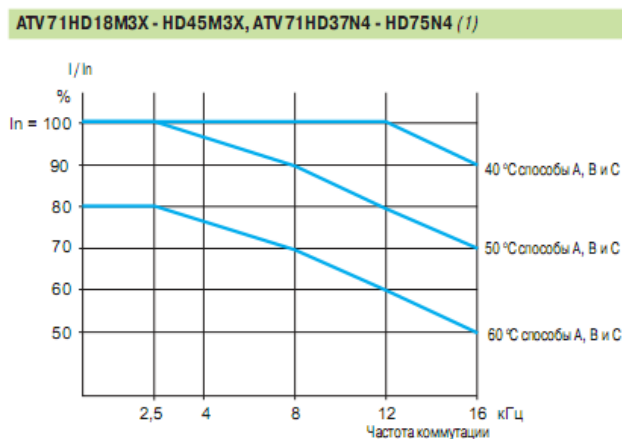


Рисунок 12 – Зависимость тока преобразователя I_{II} от температуры, частоты коммутации и способа установки
– схема подключения (рисунок 13);

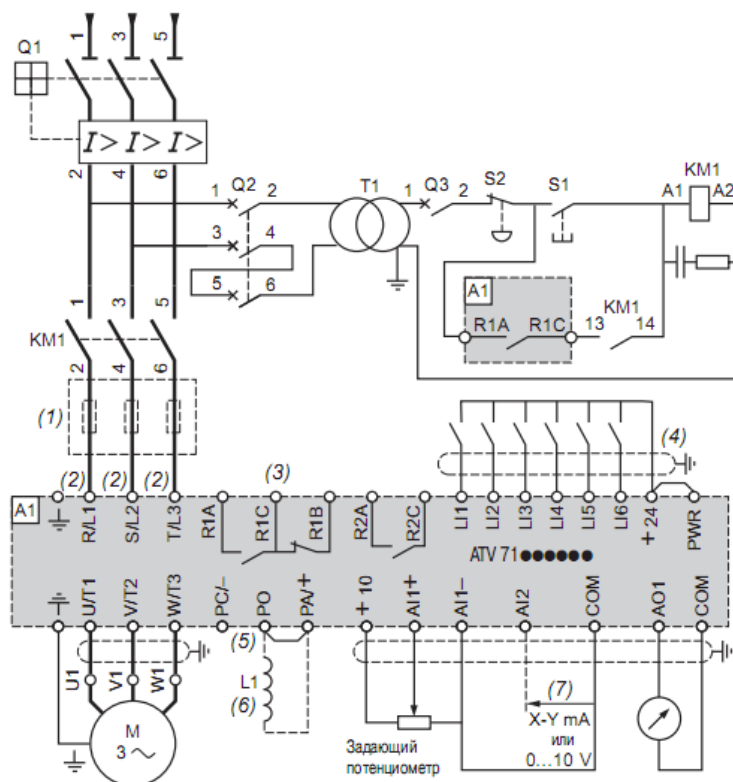


Рисунок 13 – Трехфазное питание с отключением на входе с помощью сетевого контактора

Комплектующие таблица 8

Код	Наименование
A1	Преобразователь ATV71 HD75N4
KM1	Сетевой контактор LC1 F185**
L1	Дроссель постоянного тока $L=0,22$ мГн, $I_n=171,2$ А, $P_{потери}=128$ Вт
Q1	Выключатель NS250*MA220
Q2	GV2 с током, который в 2 раза больше I_n первичной обмотки T1
Q3	GB2 CB05
S1,S2	Кнопки XB4 В или XB5 А
T1	Трансформатор 100ВА со вторичной обмоткой на 220 В

3.6 Проверка правильности выбора преобразователя

На рисунке 12 в плоскости электромеханических характеристик построены характеристики нагрузки и характеристики преобразователя частоты

$$I_{ин}(\omega) = \text{const} = 160 \text{ A},$$

$$I_{имакс}(\omega) = \text{const} = 240 \text{ A}.$$

Условия проверки правильности выбора преобразователя частоты

$$I_{с экв}(\omega) < I_{ин};$$

$$I_{с1 макс}(\omega) < I_{имакс}; \quad (68)$$

$$I_{эп доп}(\omega) < I_{имакс}.$$

Анализ приведенных на рисунке 12 электромеханических характеристик разомкнутой системы электропривода, характеристик преобразователя частоты и нагрузки показывает, что все три условия выполняются, следовательно, преобразователь выбран правильно.

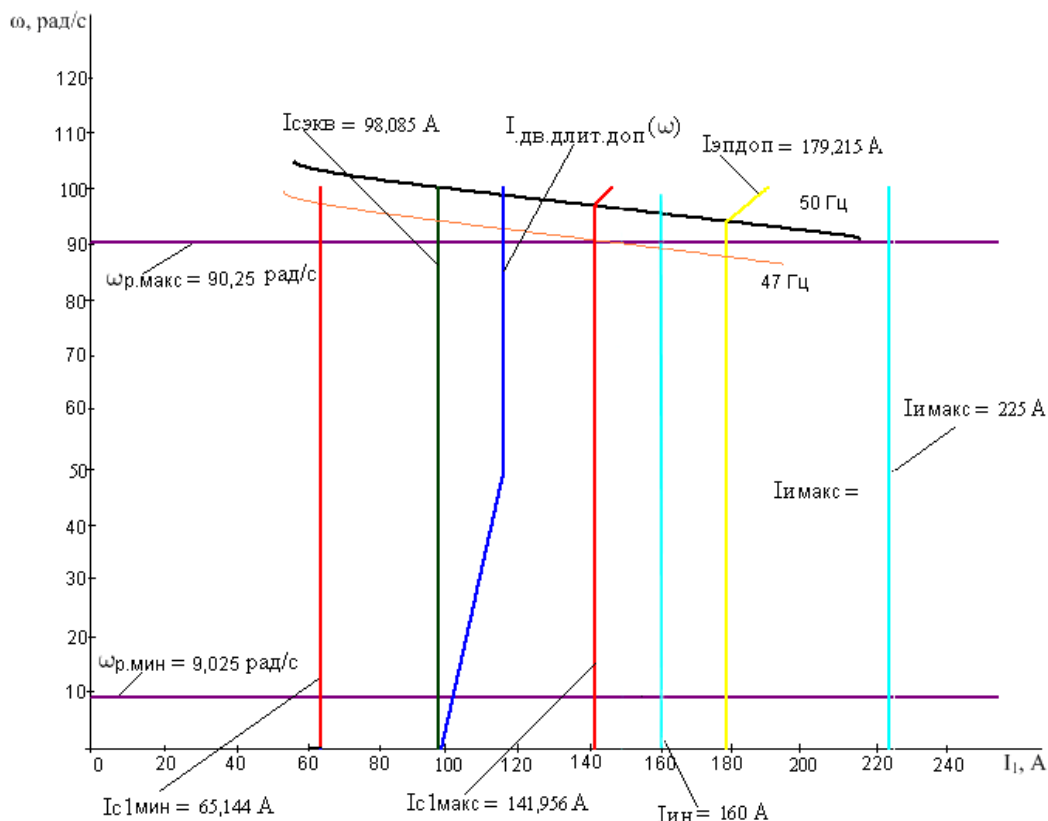


Рисунок 12 – Электромеханические характеристики разомкнутой системы электропривода, преобразователя и нагрузки

3.7 Проверка обеспечения заданной области работы

Определим максимальную рабочую частоту инвертора из условия обеспечения максимального момента электропривода при подъеме на максимальной рабочей скорости. Решив относительно частоты f_1 уравнение (44) при $\omega = \omega_{p, \max} = 90,254$ рад/с и $M = M_{\text{эп доп}}$, окончательно принимаем значение максимальной частоты инвертора $f_{i \max} = 49$ Гц.

На рисунке 13 приведены предельные механические характеристики $\omega = f(M)$ разомкнутой системы электропривода при частотном регулировании для значений частоты $f_1 = 47, 49, 50$ Гц и характеристики нагрузки

- характеристики статического момента при подъеме
– максимального груза

$$M_{c1 \max}(\omega) = \text{const} = 728,01 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- пустого грузозахватывающего устройства

$$M_{c1 \min}(\omega) = \text{const} = 196,71 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- характеристики статического момента при спуске
– максимального груза

$$M_{c2 \max}(\omega) = \text{const} = 395,60 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- пустого грузозахватывающего устройства

$$M_{c2 \min}(\omega) = \text{const} = - 24,16 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- – характеристика максимального момента

$$M_{\text{эп.доп}}(\omega) = \text{const} = 923,73 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приведенные на рисунке 13 характеристики доказывают, что при выбранных условиях электропривод с частотным регулированием обеспечивает заданную область работы.

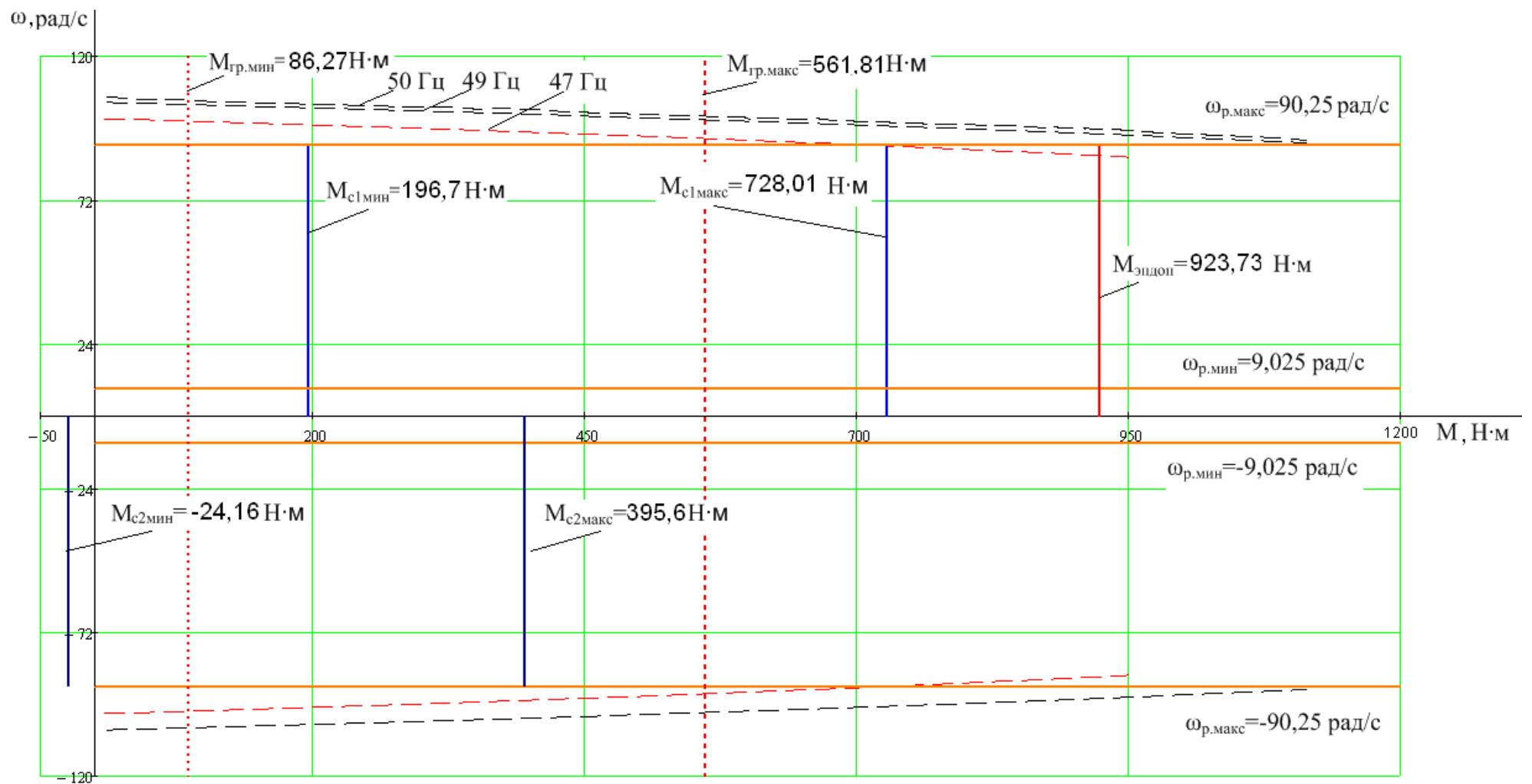


Рисунок 13 – Механические характеристики разомкнутой системы электропривода при частотном регулировании и характеристики нагрузки

3.8 Структурная схема силового канала электропривода

Структурная схема силового канала непрерывной линейаризованной системы ПЧ–АД во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, при компенсации внутренних ЭДС двигателя приведена на рисунке 14. Управляющими сигналами на входе преобразователя структурной схемы силового канала являются напряжения постоянного тока. Выходные напряжения преобразователя представляют собой составляющие напряжения статора U_{1d} и U_{1q} в ортогональной системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора Ψ_{2d} .

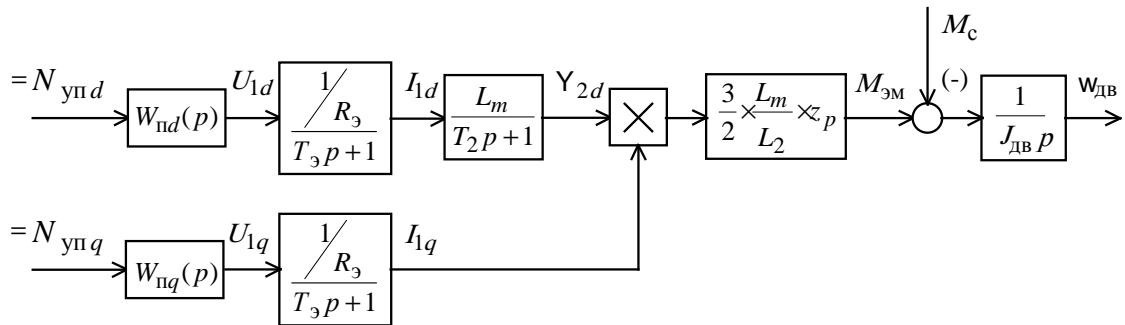


Рисунок 14 – Структурная схема силового канала системы ПЧ–АД во вращающейся двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, при компенсации внутренних перекрестных обратных связей

Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

Расчет параметров преобразователя

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя

$$k_{и} = \frac{\sqrt{2} \times U_{1фн}}{N_{уп макс}} = \frac{\sqrt{2} \times 220}{1} = 311,13, \quad (69)$$

где $N_{\text{уп макс}}$ – максимальное значение напряжения управления, В, принимаем $N_{\text{уп макс}} = 1$.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$\dot{\theta}_{\text{в}} = \frac{1}{f_{\text{в}}} = \frac{1}{10000} = 1 \times 10^{-4} \text{ с}, (70)$$

где $f_{\text{шим}}$ – несущая частота инвертора, Гц. Принимаем $f_{\text{в}} = 10 \text{ кГц}$.

Расчет параметров двигателя

Эквивалентные индуктивности обмоток

– статора

$$L_1 = L_{\sigma 1} + L_{\mu} = 0,164 \times 10^{-3} + 0,01207 = 0,01223 \text{ Гн}; (71)$$

– ротора

$$L_2 = L'_{\sigma 2} + L_{\mu} = 0,2192 \times 10^{-3} + 0,01207 = 0,01229 \text{ Гн}. (72)$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \times L_2} = \frac{0,01207^2}{0,01223 \times 0,01229} = 0,031. (73)$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2' \times \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 0,128 + 0,124 \times \frac{0,01207^2}{0,01229^2} = 0,247 \text{ Ом}. (74)$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_{\Sigma} = \frac{\sigma \times L_1}{R_{\Sigma}} = \frac{0,031 \times 0,01223}{0,247} = 1,5327 \times 10^{-3} \text{ с}; (75)$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,01229}{0,124} = 0,0992 \text{ с}. (76)$$

3.9 Определение максимального момента при подъеме и спуске в системе векторного управления, максимального ускорения и максимального усилия в канате

Номинальный поток двигателя

$$\psi_{2H} = \sqrt{2} \times I_0 \times L_\mu = \sqrt{2} \times 53,911 \times 0,01207 = 0,92 \text{ Вб}. \quad (77)$$

Максимальный момент электропривода, определяемый максимальным током инвертора $I_{\text{имакс}}$, в системе векторного управления, согласно [10]

$$\begin{aligned} M_{\text{дв}} &= \sqrt{2} \times \sqrt{I_{\text{дв}}^2 - I_0^2} \times \psi_{2f} \times \frac{3}{2} \times \frac{L_\mu}{L_2} = \\ &= \sqrt{2} \times \sqrt{225^2 - 53,911^2} \times 0,92 \times \frac{3}{2} \times \frac{0,01207}{0,01229} = 1256,982 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned} \quad (78)$$

Динамический момент электропривода в системе векторного управления

– при подъеме максимального груза

$$\dot{M}_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} - M_{\text{нл}} = 1256,982 - 728,01 = 528,972 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (79)$$

– при подъеме минимального груза

$$\dot{M}_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} - M_{\text{нл}} = 1256,982 - 196,71 = 1060,276 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (80)$$

Требуемый максимальный момент электропривода в системе векторного управления при пуске из условия обеспечения равенства динамических моментов при подъеме и спуске

$$\dot{M}_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} + M_{\text{нл}} = 528,972 + 395,603 = 924,576 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (81)$$

Максимально допустимое значение тока в системе векторного управления при спуске

$$I_{\text{дв}}' = \frac{M_{\text{дв}}}{\psi_{2f} \times \frac{3}{2} \times \frac{L_\mu}{L_2}} = \frac{924,576}{0,92 \times \frac{3}{2} \times \frac{0,01207}{0,01229}} = 227,38 \text{ А}. \quad (82)$$

Максимально допустимое значение тока при постоянном токоограничении $I_{\text{эпмакс}} = \text{const}$

$$I_{\text{q.н}} = \sqrt{2} \times \sqrt{I_{\text{y.н}}^2 - I_0^2} = \sqrt{2} \times \sqrt{225^2 - 53,911^2} = 308,929 \text{ А}. (83)$$

Ускорение при подъеме максимального груза

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\text{эф.а}}}{J_{\text{э}}} = \frac{528,972}{1,355} = 390,285 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$a_{\text{н}} = \frac{d\omega}{dt} \times \frac{V_{\text{н}}}{w_{\text{н}}} = 390,283 \times \frac{7,5}{90,25 \times 60} = 0,541 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}. (84)$$

Время разгона при подъеме максимального груза

$$t_{\text{р}} = \frac{V_{\text{н}}}{a_{\text{н}}} = \frac{7,5}{60 \times 0,541} = 0,231 \text{ с}. (85)$$

Максимальное усилие в канате

$$F_{\text{к}} = \frac{F_{\text{а}}}{a_{\text{н}}} = \frac{M_{\text{а}}}{\frac{D_{\text{а}}}{2} \times a_{\text{н}}} = \frac{M_{\text{y.н}} \times i_{\text{дв}}}{\frac{D_{\text{а}}}{2} \times a_{\text{н}}} = \frac{1256,982 \times 71}{\frac{20,59}{2} \times 2} = 151,264 \times 10^3 \text{ Н}, (86)$$

т.е. при выбранном максимальном ускорении $a_{\text{макс}} = 0,683 \text{ м/с}^2$ максимальное усилие в канате не превышает значения разрывного усилия (смотри таблицу 1):

$$F_{\text{к}} < F_{\text{кмакс}}.$$

4. ОПТИМИЗАЦИЯ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА

4.1 Структурная схема линейризованной САУ РЭП

Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 15.

На схеме приняты следующие обозначения:

$W(p)_{pT}, W(p)_{pY}, W(p)_{pC}$ - передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости;

k_T – коэффициент обратной связи по току, В/А;

k_Y – коэффициент обратной связи по потокосцеплению ротора, В/Вб;

k_C – коэффициент обратной связи по скорости, В·с/рад.

Расчет параметров преобразователя и системы управления инвертором

Условия согласования напряжений и токов преобразователя и двигателя:

$$U_{d1} = \frac{1,35 \times \sqrt{3} \times U_{1f}}{k_{\phi} \times g_{i \rightarrow \phi}} = \frac{1,35 \times \sqrt{3} \times 220}{0,85 \times 0,95} = 637,052 \text{ В}$$

$$(k_{\phi} = 0,85 \quad g_{i \rightarrow \phi} = 0,95 \quad \text{данные из таблицы 1})$$

Коэффициент усиления инвертора

$$k_{\phi} = \frac{U_{d1}}{\sqrt{3}} = \frac{637,052}{\sqrt{3}} = 367,8$$

Коэффициент передачи датчика линейного тока

$$k_{i \rightarrow \phi} = \frac{0,5 \times 2^n}{s_{\phi} \times (\sqrt{2} \times I_{\phi \rightarrow i})} = \frac{2048}{1,2 \times \sqrt{2} \times 225} = 5,364$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе

тока

$$k_{i\bar{n},\dot{\phi}} = \frac{1}{0.5 \times 2^n} = \frac{1}{2048} = 4.883 \times 10^{-4}$$

Коэффициент обратной связи по амплитудному значению фазного тока

$$k_{\dot{\phi}} = k_{i\bar{n},\dot{\phi}} \times k_{i\bar{n},\dot{\phi}} = 5,364 \times 4,883 \times 10^{-4} = 2,619 \times 10^{-3}$$

Оценим адекватность параметров модели и справочных и полученных расчетных параметров электродвигателя. Параметры двигателя, соответствующие справочным данным: $I_{\text{дв н}} = I_{1\text{ф н}} = 116,386 \text{ А}$;

$M_{\text{дв н}} = 558,777 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Параметры двигателя расчетные: $I_0 = 53,911 \text{ А}$;

$I_1(s_n) = 93,298 \text{ А}$; $M_{\text{эм н}} = 593,421 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и $Y_{2\text{н}} = 0,92 \text{ Вб}$. За основные пара-

метры электродвигателя примем значения номинального тока

$I_{1\text{ф н}} = 116,386 \text{ А}$ и номинального электромагнитного момента

$M_{\text{эм н}} = 593,421 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Решив совместно систему уравнений:

$$\begin{aligned} Y_{2\text{н}} &= \frac{M_{\text{эм н}}}{\frac{3}{2} \times z_p \times \left(\frac{L_m}{L_2}\right) \times \sqrt{2} \times \sqrt{I_{1\text{ф н}}^2 - I_0^2}}, \quad (90) \\ Y_{2\text{н}} &= \sqrt{2} \times I_0 \times L_m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,92 &= \frac{593,421}{\frac{3}{2} \times 3 \times \left(\frac{0,01207}{0,01229}\right) \times \sqrt{2} \times \sqrt{116,386^2 - 53,911^2}}, \quad (91) \\ 0,92 &= \sqrt{2} \times 53,911 \times 0,01207 \end{aligned}$$

Относительно тока I_0 определяем значение тока намагничивания $I_0^* = 53,946 \text{ А}$, соответствующее параметрам структурной схемы.

Рассчитываем параметры структурной схемы, необходимые для оптимизации контуров регулирования:

– значение номинального потокосцепления двигателя, Вб

$$Y_{2dH}^* = Y_{2H}^* = \sqrt{2} \times I_0^* \times L_m = \sqrt{2} \times 53,946 \times 0,01207 = 0,921 \text{ Вб}; (92)$$

– значение номинального тока I_{1d} , А

$$I_{1dH}^* = \sqrt{2} \times I_0^* = \sqrt{2} \times 53,946 = 76,291 \text{ А}; (93)$$

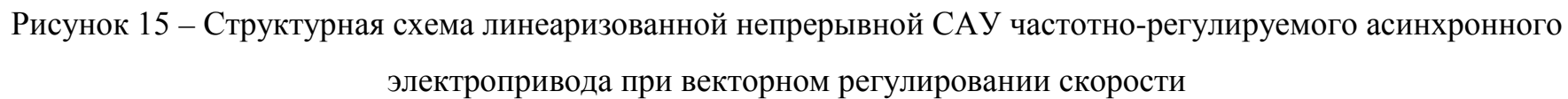
– значение номинального тока I_{1q} , А

$$I_{1qH}^* = \sqrt{2} \times \sqrt{I_{1\phi H}^2 - (I_0^*)^2} = \sqrt{2} \times \sqrt{116,38^2 - 53,95^2} = 145,845 \text{ А}; (94)$$

– максимально допустимое значение тока I_{1q} , А

$$I_{1q\text{ доп}}^* = \sqrt{2} \times \sqrt{(I_{y\text{ äi i}}^*)^2 - (I_0^*)^2} = \sqrt{2} \times \sqrt{225^2 - 53,95^2} = 308,916 \text{ А}, (95)$$

где $I_{\text{эп доп}}^* = I_{\text{эп доп}}$, если ограничен ток электропривода.



4.2 Оптимизация контура тока

4.2.1 Структурная схема и параметры элементов контура

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией перекрестных обратных связей двигателя приведена на рисунке 16.

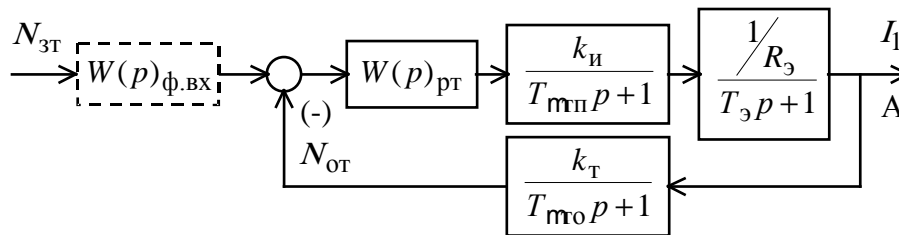


Рисунок 16 – Структурная схема контура тока

Контур токов I_{1d} и I_{1q} идентичные. Контур тока характеризуется одной большой постоянной времени в прямом канале $T_э = 0,0015327$ с.

В качестве регулятора тока принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{\text{рп}}(p) = k_{\text{рп}} \times \frac{T_{\text{рп}} \times p + 1}{T_{\text{рп}} \times p} \quad (96)$$

и настраиваем контур тока на модульный оптимум (МО).

$$k_{\text{до}} = \frac{\dot{O}_{\dot{y}} \times R_{\dot{y}}}{k_{\text{э}} \times k_{\text{до}} \times a_{\text{до}} \times \dot{O}_{\text{мд}\dot{y}}} = \frac{0,0015327 \times 0,247}{367,8 \times 0,002455 \times 2 \times 1,5 \times 10^{-4}} = 1,398 \text{ – коэффициент}$$

усиления регулятора тока,

$$\text{где } \dot{O}_{\text{мд}\dot{y}} = \frac{\dot{O}_{\text{э}\dot{\text{д}}\dot{r}}}{n_{\text{до}}} + \dot{O}_{\text{сд}\dot{r}} = 0,5 \times 10^{-4} + 10^{-4} = 1,5 \times 10^{-4} \text{ с – эквивалентная малая по-}$$

стоянная времени оптимизированного контура тока;

4.3 Оптимизация контура потокосцепления

4.3.1 Структурная схема и параметры элементов контура

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{Т зам}} \gg \frac{1}{T_{\text{Т}} \times p + 1}, \quad (106)$$

где $\dot{O}_0 = \dot{a}_0 \times \dot{O}_{\text{мд}}$ $= 2 \times 1,5 \times 10^{-4} = 3 \times 10^{-4}$ с – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура потокосцепления.

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 19.

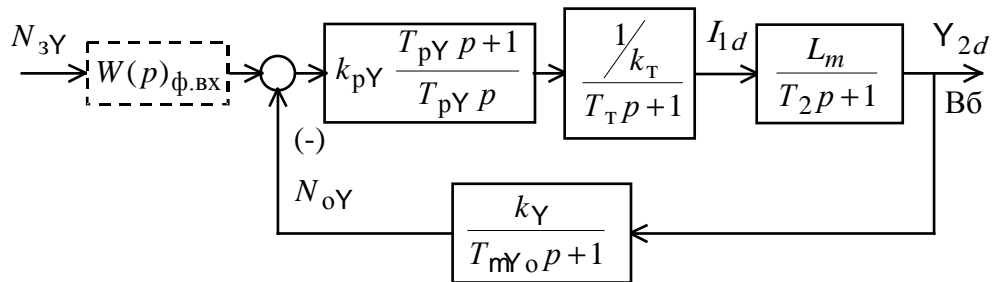


Рисунок 19 – Структурная схема контура потокосцепления

Контур потокосцепления характеризуется одной большой постоянной времени в прямом канале $T_2 = 99,2 \times 10^{-3}$ с.

В качестве регулятора потокосцепления принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{\text{пу}} = k_{\text{пY}} \times \frac{T_{\text{пY}} \times p + 1}{T_{\text{пY}} \times p} \quad (107)$$

и настраиваем контур потокосцепления на модульный оптимум

$$T_{\text{пY}} = T_2 = 0,099 \text{ с}$$

– постоянная времени регулятора потокосцепления;

$$k_{\delta Y} = \frac{\dot{O}_2 \times k_{\delta}}{L_m \times k_Y} \times \frac{1}{a_Y \times \dot{O}_{mY}} = \frac{99,2 \times 10^{-3} \times 0,002455}{0,01207 \times 0,905} \times \frac{1}{2 \times 1,3 \times 10^{-3}} = 8,575$$

– коэффициент усиления регулятора потокосцепления,

где $\dot{O}_{mY} = \dot{O}_{\delta} + \dot{O}_{\varepsilon Y \hat{1}} = 3 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-3} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ с}$

$a_Y = 2$ – коэффициент оптимизации контура потокосцепления;

Коэффициент передачи датчика линейного потокосцепления

$$k_{\ddot{a}\delta} = \frac{0,5 \times 2^n}{s_Y \times Y_{2f}} = \frac{2048}{1,2 \times 0,921} = 1853$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на поток

$$k_{i \bar{n}, \delta} = \frac{1}{0,5 \times 2^n} = \frac{1}{2048} = 4,883 \times 10^{-4}$$

Коэффициент обратной связи по амплитудному значению фазного тока

$$k_Y = k_{\ddot{a}Y} \times k_{i \bar{n}, Y} = 1853 \times 4,883 \times 10^{-4} = 0,905$$

4.4 Оптимизация контура скорости

4.4.1 Структурная схема и параметры элементов контура

При оптимизации контура скорости внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{Т зам}} \approx \frac{1}{T_T \times p + 1}, (112)$$

где $\dot{O}_{\delta} = \dot{a}_{\delta} \times \dot{O}_{m\delta} = 2 \times 1,5 \times 10^{-4} = 3 \times 10^{-4} \text{ с}$ – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура потокосцепления, с.

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 22.

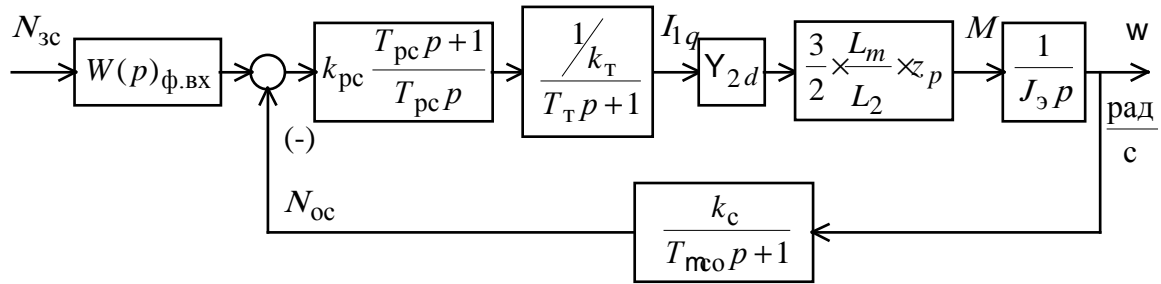


Рисунок 22 – Структурная схема контура скорости с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости

$$W(p)_{\text{pc}} = k_{\text{pc}} \times \frac{T_{\text{pc}}p + 1}{T_{\text{pc}} \times p}. \quad (113)$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям

$$k_{\text{дн}} = \frac{J_{\text{э}} \times k_{\text{д}}}{Y_{2\text{д}} \times \frac{3}{2} \times \frac{L_m}{L_2} \times z_p \times k_{\text{н}}} \times \frac{1}{a_c \times \dot{\phi}_{\text{мн}}} =$$

$$= \frac{1,355 \times 0,002455}{0,921 \times \frac{3}{2} \times \frac{0,01207}{0,01229} \times 3 \times 7,384 \times 10^{-3}} \times \frac{1}{2 \times 1,3 \times 10^{-3}} = 42,573; \quad (114)$$

$$\dot{\phi}_{\text{дн}} = b_c \times a_c \times \dot{\phi}_{\text{мн}} = 2 \times 2 \times 1,3 \times 10^{-3} = 5,2 \times 10^{-3} \text{ н},$$

где

$$\dot{\phi}_{\text{мн}} = \dot{\phi}_{\text{о}} + \frac{\dot{\phi}_{\text{эм}}}{n_c} = 3 \times 10^{-4} + 10^{-3} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ с}$$

– коэффициент обратной связи по скорости;

$$w_{\text{р.макс}} = 90,254 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ – принятое при настройке контура значение мак-}$$

симальной скорости электропривода;

$$N_{3\text{с макс}} = 1 \text{ – принятое максимальное значение напряжения задания}$$

на входе контура скорости;

$$b_c = a_c = 2 \text{ – коэффициенты оптимизации контура скорости.}$$

5 АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ОДНОМАС- СОВОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Структурная схема нелинейной САУ частотно-регулируемого электропривода механизма подъёма крана приведена на рисунке 29.

Структурная схема рисунка 30 составлена на основании структурной схемы линеаризованной САУ электропривода (рисунок 16) и учитывает следующие основные нелинейности элементов системы управления электропривода:

– насыщение регуляторов тока, потокосцепления и скорости

$$N_{\text{рт макс}} = \pm 1, N_{\text{пу макс}} = \pm 1, N_{\text{рс макс}} = \pm 1;$$

– ограничение напряжения задания на ток

$$N_{\text{зт макс}} = 1;$$

– ограничение выходного напряжения инвертора

$$E_{\text{и}} = \pm \sqrt{2} \times U_{1\text{фн}} = \pm \sqrt{2} \times 220 = \pm 311,127 \text{ В}; (125)$$

– момент сопротивления типа сухого трения (реактивный по характеру)

$$M_{\text{с}}(w) = M_{\text{с}} \times \text{sign} w, (126)$$

где

$$M_{\text{с}} = M_{\text{сдв}} + M_{\text{спост}} = 34,422 + 65,89 = 100,312 \text{ Н} \times \text{м}. (127)$$

5.1 Контур потокосцепления

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 25.

Параметры элементов контура потокосцепления сведены в таблицу 9.

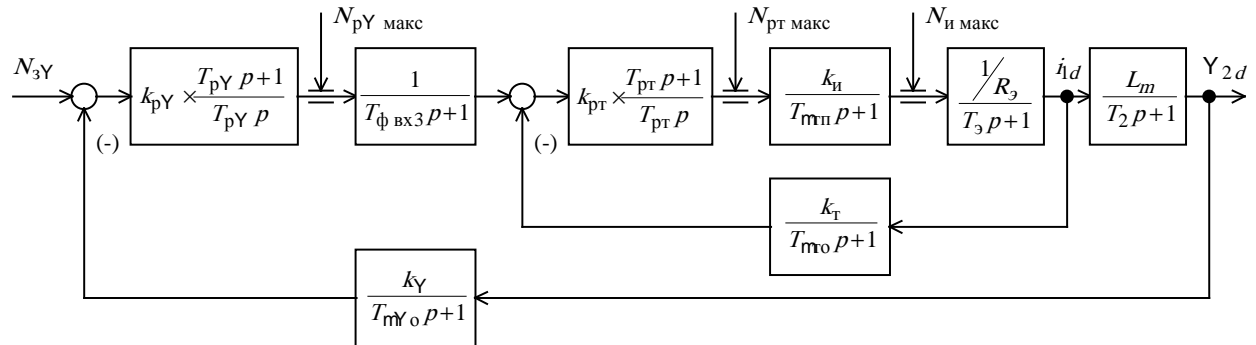


Рисунок 25 – Структурная схема контура регулирования потокосцепления

Таблица 9 – Параметры элементов контура потокосцепления

N_{3Y}	k_{pY}	$T_{pY}, \text{с}$	$k_Y, \text{В/Вб}$	$T_{mYo}, \text{с}$	$T_{ф\text{вх}}, \text{с}$	$k_{И}$	$k_{рТ}$
1	10,43	0,099	1,086	0,001	0,000166	311,1	0,588

Продолжение таблицы 9

$T_{рТ}, \text{с}$	$k_T, \text{В/А}$	$T_{mo}, \text{с}$	$T_{mП}, \text{с}$	$R_3, \text{Ом}$	$T_3, \text{с}$	$L_m, \text{Гн}$
0,001532	0,00413	0,000166	0,0000833	0,247	0,001532	0,01207

Окончание таблицы 9

$T_2, \text{с}$	$Y_{2дн}, \text{Вб}$	$N_{pY \text{ макс}}$	$N_{рТ \text{ макс}}$	$E_{И \text{ макс}}, \text{В}$
0,099	0,921	± 1	± 1	$\pm 311,12$

По структурной схеме рисунка 25 набирается имитационная модель контура потокосцепления, согласно [13], приведенная на рисунке 26. В состав имитационной модели рисунка 26 входят суперблоки:

- контура тока (рисунок 27);
- регулятора тока (рисунок 28);
- регулятора потокосцепления (рисунок 29).

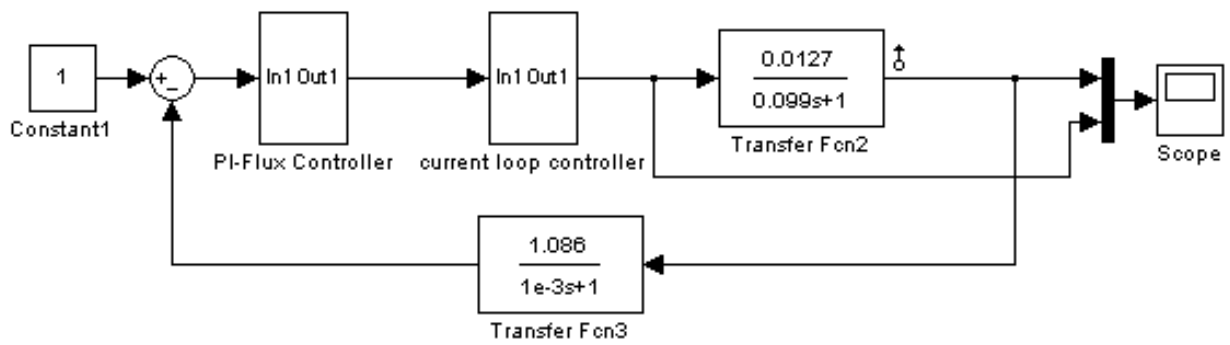


Рисунок 26 – Схема набора имитационной модели контура потокосцепления

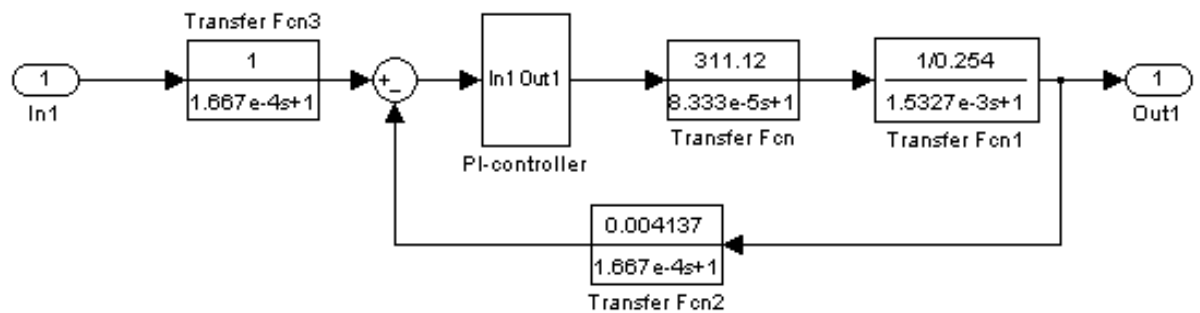


Рисунок 27 – Схема набора имитационной модели контура тока

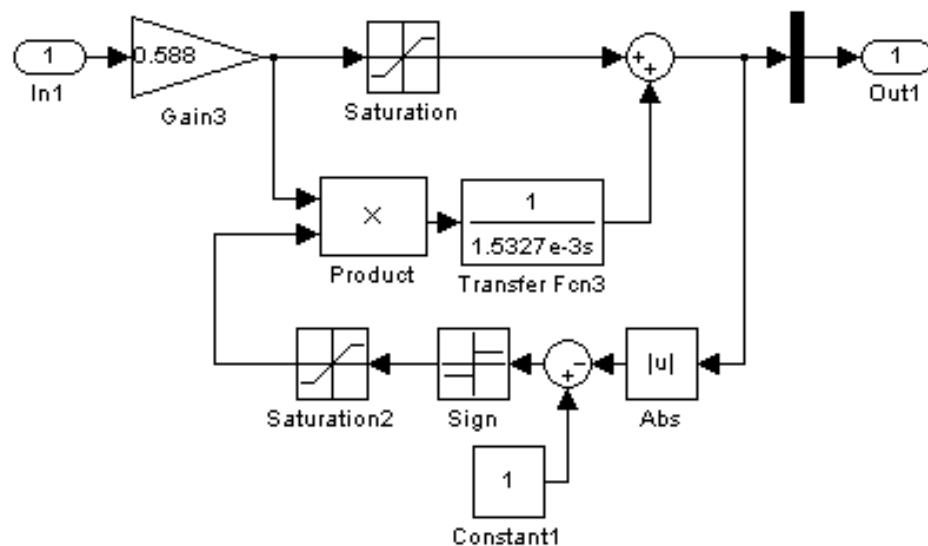


Рисунок 28 – Схема набора имитационной модели регулятора тока

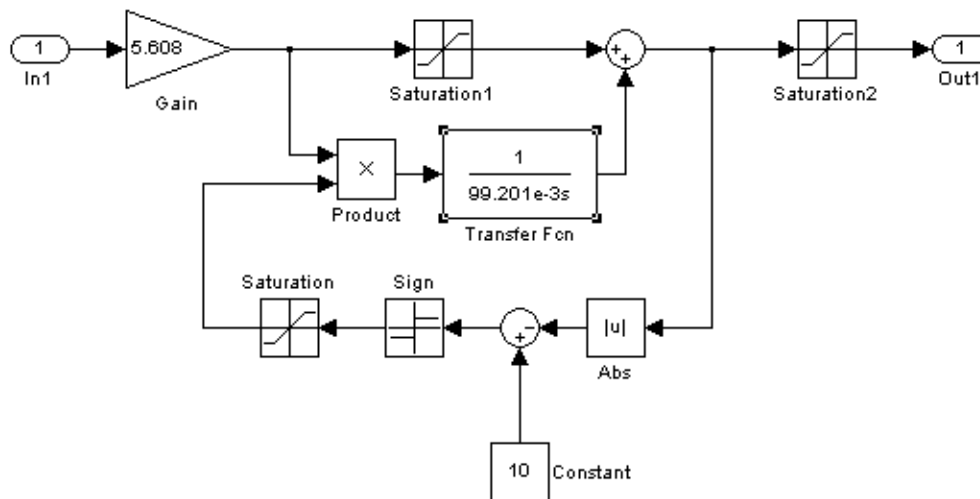


Рисунок 29 – Схема набора имитационной модели регулятора потокосцепления

Программа имитационных исследований контура потокосцепления включает в себя оценку процесса формирования номинального значения потокосцепления двигателя. На рисунке 30 приведены временные диаграммы изменения тока намагничивания $I_{ld}(t)$ и потокосцепления $Y_{2d}(t)$ при ступенчатом задании управления на входе контура $N_{3Y} = 1$.

Процесс формирования потокосцепления двигателя характеризуется следующими количественными показателями:

- установившееся значение потокосцепления $Y_{2d} = Y_{2н} = 0,921$ Вб;
- статическая ошибка отработки заданного значения потокосцепления $DY_{уст} = 0$;
- время достижения значения $0,95 \times Y_{2d\text{уст}} \quad t_1^{(5)} = 0,029$ с.

Внутренний контур тока обеспечивает ограничение максимального значения тока на уровне $I_{ld\text{макс}} = I_{lq\text{макс}} = 241,6$ А и установившееся значение тока равное $I_{ld\text{уст}} = \sqrt{2} \times I_0 = \sqrt{2} \times 53,946 = 76,2$ А.

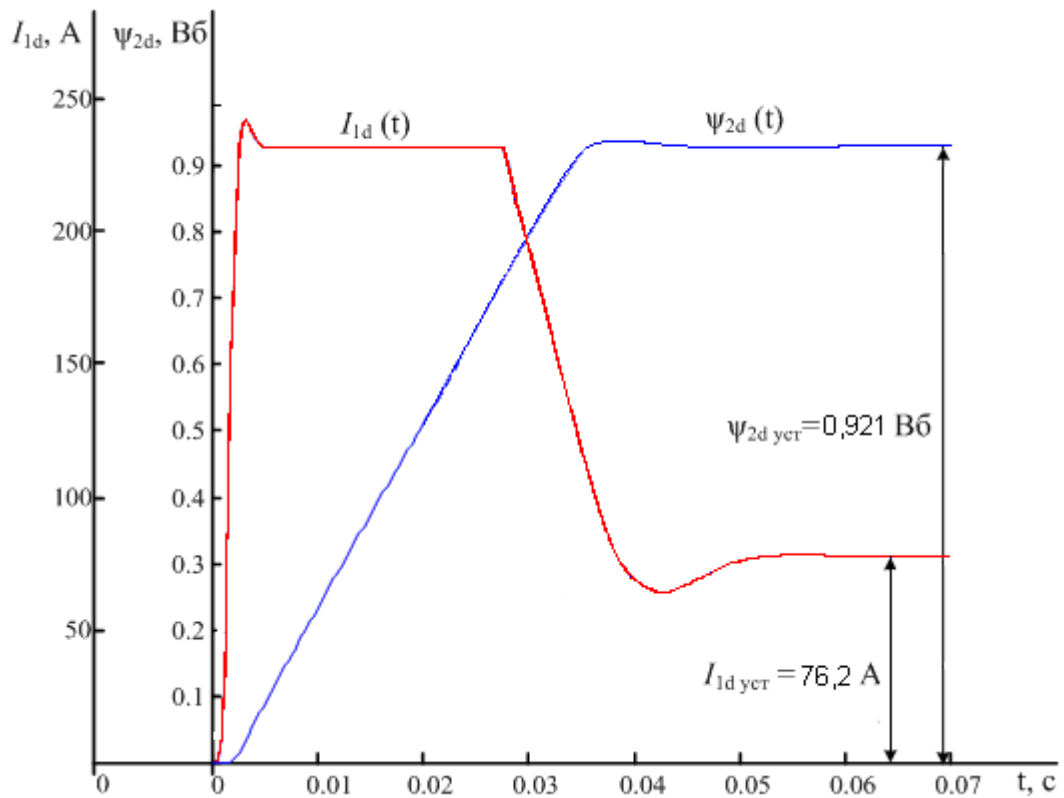


Рисунок 30 – Переходные процессы в контуре потокоцепления при $U_{3Y} = 1$ В

5.2 Контур скорости

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 31. Параметры элементов контура скорости сведены в таблице 10. По структурной схеме рисунка 31 набирается имитационная модель контура скорости, представленная на рисунке 32.

В состав имитационной модели рисунка 32 входят суперблоки:

- контура тока (рисунок 27);
- регулятора скорости (рисунок 33);
- механической системы приемного устройства (рисунок 34).

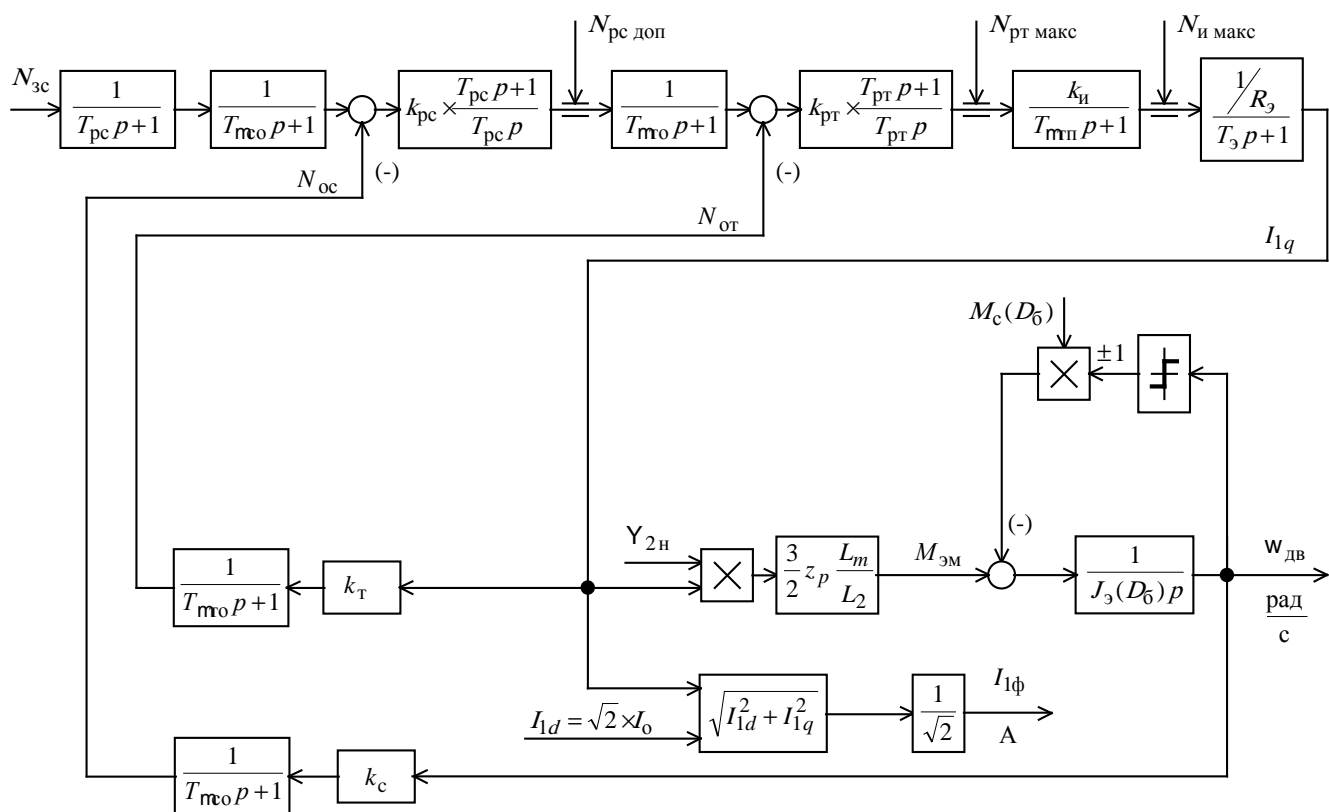


Рисунок 31 – Структурная схема контура скорости

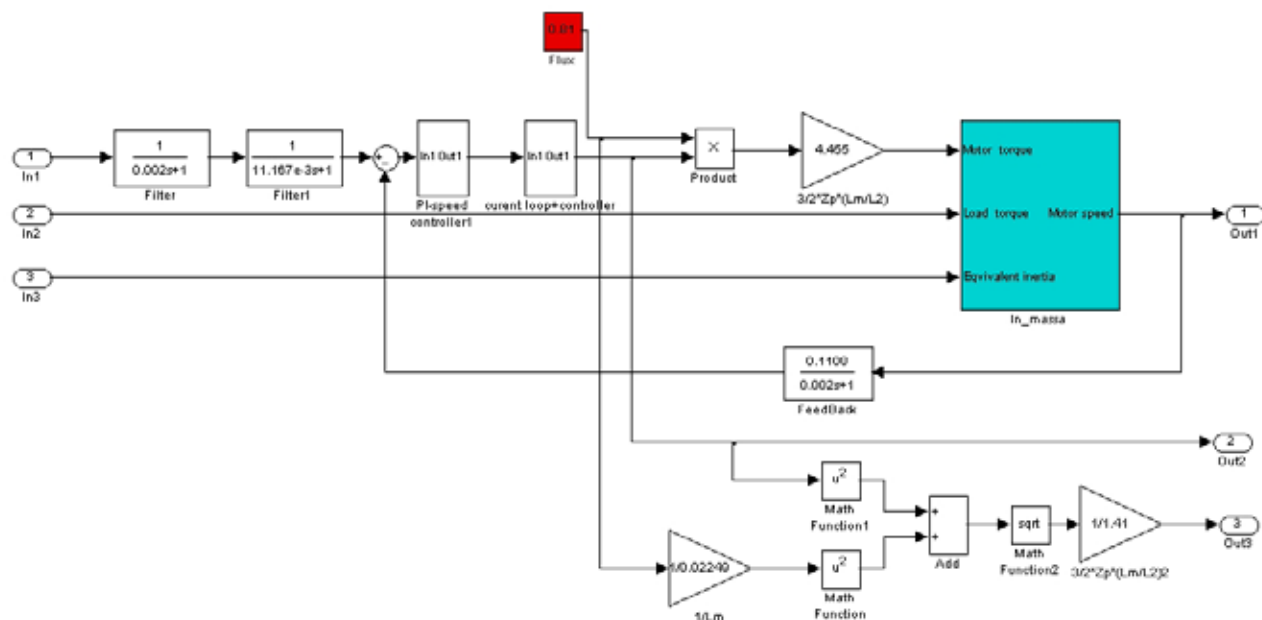


Рисунок 32 – Схема набора имитационной модели контура скорости

Таблица 10 – Параметры элементов контура скорости

$T_{\phi \text{ вх1}},$ с	$T_{\phi \text{ вх2}},$ с	k_{pc}	$T_{pc},$ с	$k_c,$ В·с/рад	$T_{mo},$ с	k_{pr}	T_{pr} с	$k_T,$ В/А	$T_{mo},$ с	k_{ii}
0,006	0,001	41,43	0,006	0,011	0,001	0,588	0,00153	0,00413	0,000166	311,1

Продолжение таблицы 10

$T_{мп},$ с	$R_3,$ Ом	$T_3,$ с	$\gamma_{2дн},$ Вб	$L_m,$ Гн	$L_2,$ Гн	z_p	$J_3, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$w_{p.макс},$ рад/с	$I_{1qмакс},$ А	$N_{рег.макс}$	$U_{и макс}, \text{В}$
0,0000833	0,247	0,00153	0,921	0,01207	0,01229	3	1,355	90,254	241,6	± 1	$\pm 311,12$

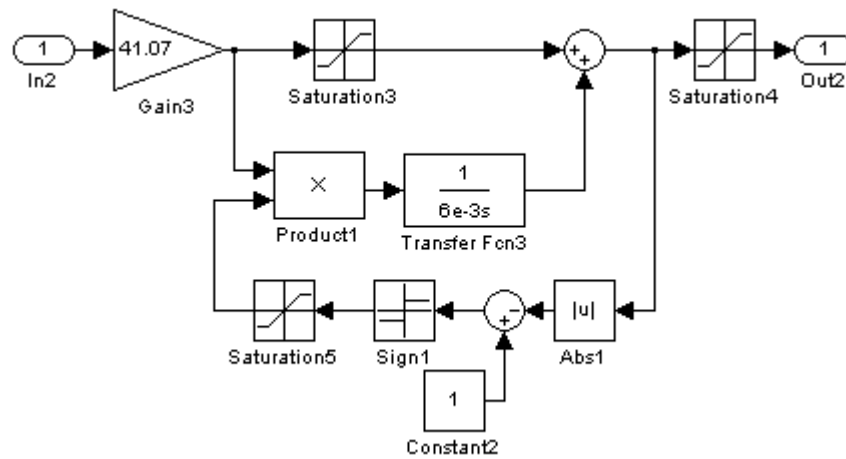
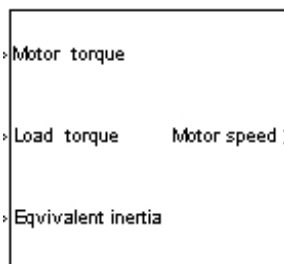
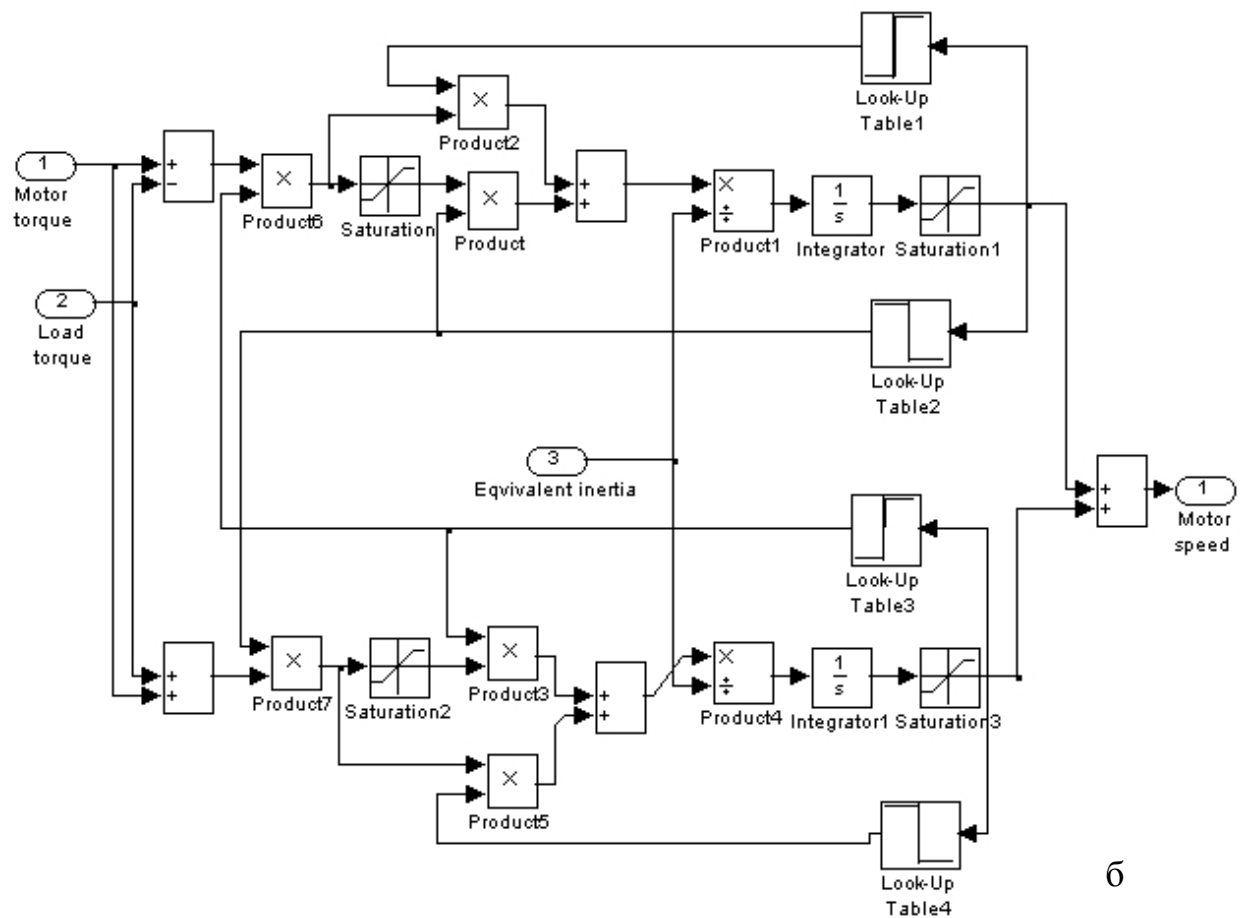


Рисунок 33 – Схема набора имитационной модели регулятора скорости



а



б

Рисунок 34 – Схема набора имитационной модели механической системы: а – суперблок; б – схема набора модели

5.3 Имитационная модель нелинейной САУ электропривода механизма подъема

На основании структурной схемы (рисунок 35) в пакете Simulink системы MatLab разработана имитационная модель нелинейной САУ частотно-регулируемого электропривода механизма подъема крана, основными компонентами которой являются:

- имитационная модель двухфазного АД с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат, ориентированной по вектору потокосцепления ротора, составленная на основании структурной схемы рисунка 16 [13];
- модели ПИ–регуляторов тока и скорости, реализованных во вращающейся системе, составлены по структурным схемам, и представлены в виде суперблоков, показанных на рисунках 36 и 37;
- одномассовая механическая система с постоянным значением момента сопротивления реактивного характера моделируется суперблоком, приведенным на рисунке 30.

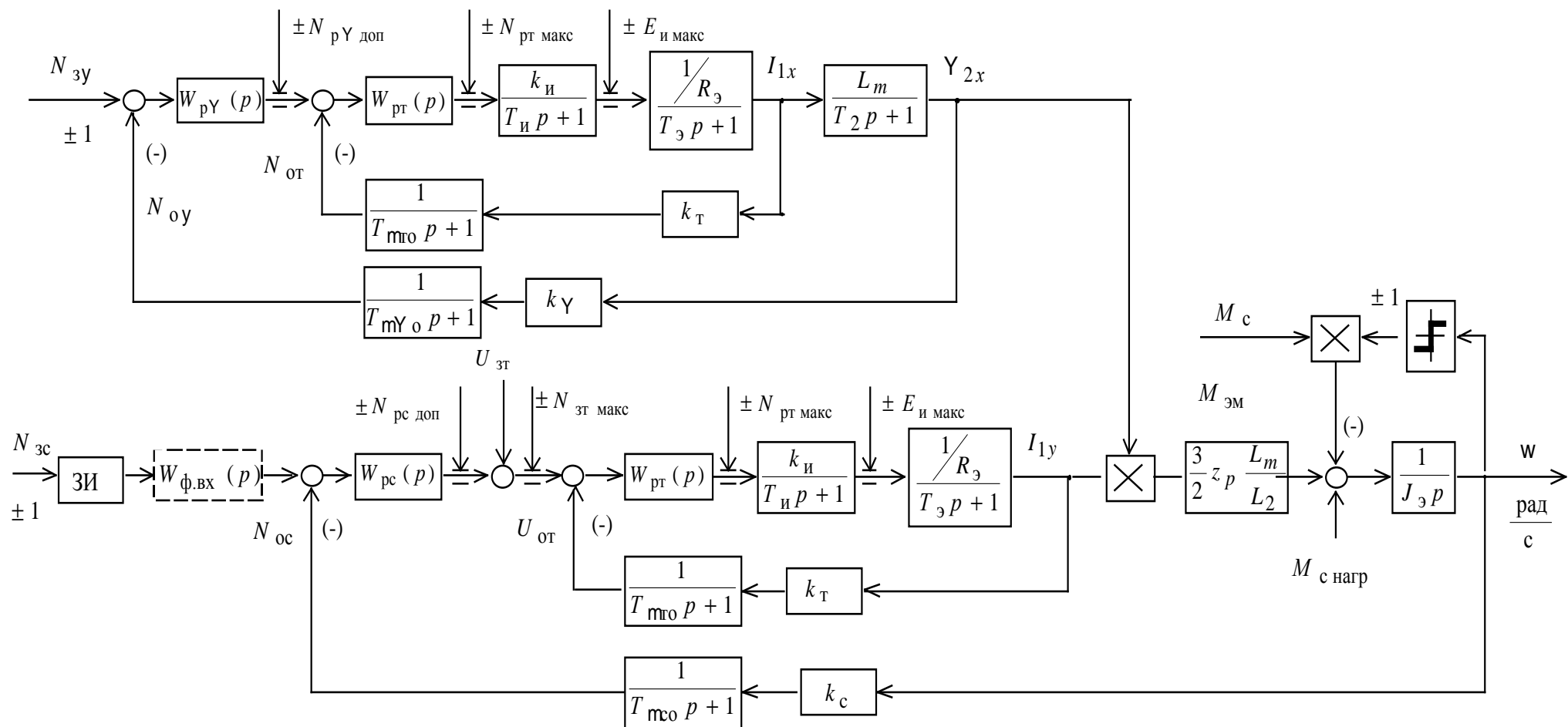
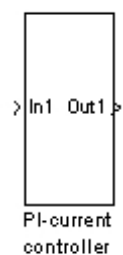
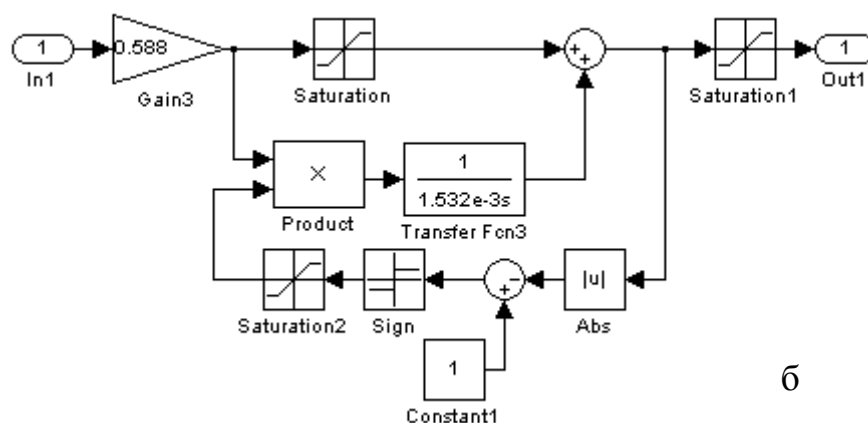


Рисунок 35 – Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого электропривода механизма подъема при векторном управлении

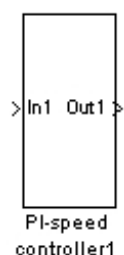


а

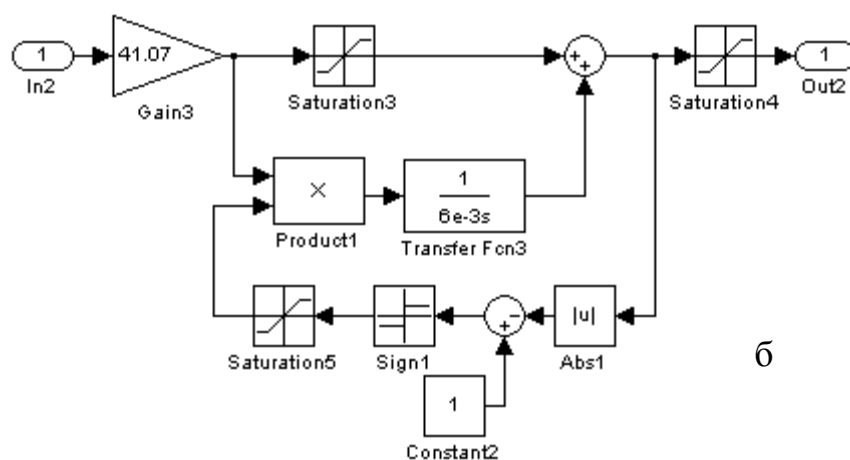


б

Рисунок 36 – Имитационная модель ПИ-регулятора тока с постоянным ограничением: а – суперблок; б – схема набора модели



а



б

Рисунок 37 – Имитационная модель ПИ-регулятора скорости с постоянным ограничением: а – суперблок; б – схема набора модели

Функция весоизмерения и формирования задания на ток осуществляется с помощью модели, показанной на рисунке 38.

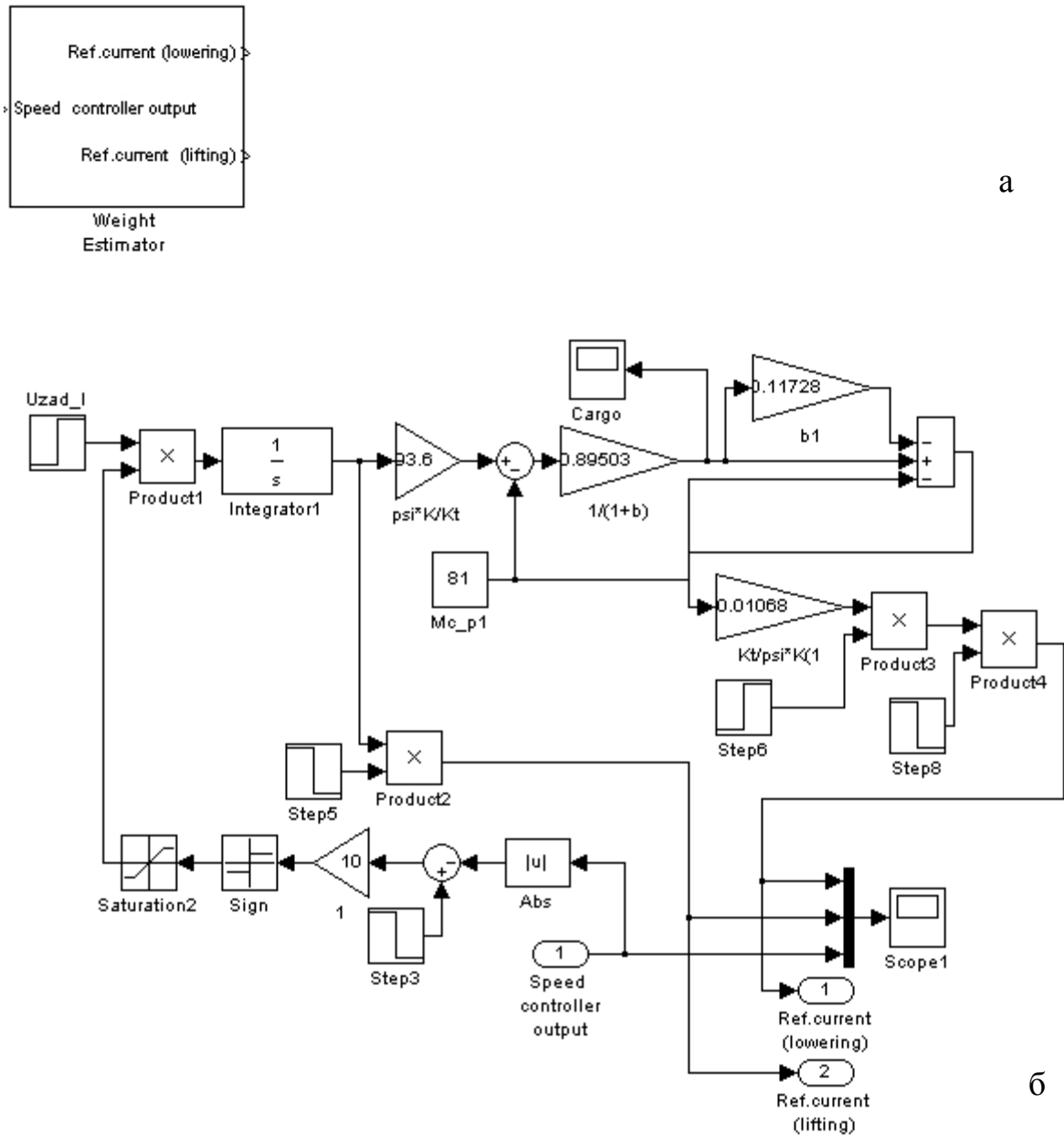


Рисунок 38 – Имитационная модель блока весоизмерения и формирования задания на ток: а – суперблок; б – схема набора модели

Ограничение момента двигателя в пусковых режимах может быть достигнуто применением задатчика интенсивности скорости во входной цепи управления электропривода. Простейшим задатчиком скорости является ли-

нейный задатчик. Фактически установка линейного задатчика скорости обеспечивает постоянное значение темпа нарастания (спадания при торможении) скорости, т.е. постоянное ускорение (замедление) привода, что достигается поддержанием постоянного значения динамического момента электропривода.

При этом электромагнитный момент электродвигателя и его максимальное значение зависят от значения статического момента нагрузки. Задатчик интенсивности с s – образной характеристикой позволит дополнительно ограничить вторую производную скорости (темпа нарастания динамического момента электропривода) и тем самым повысить плавность переходных процессов в электроприводе.

Модель задатчика интенсивности с s – образной характеристикой принята аналоговой с максимальным значением входного и выходного напряжения 10 В (рисунок 34). Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с s – образной характеристикой [7] представлена на рисунке 40. В соответствии с расчетами, приведенными в разделе 2.7, приняты следующие параметры:

$$t_1 = 0,5 \text{ с}, \quad t_2 = 1 \text{ с}, \quad T_{\text{зи}} = 2 \times t_1 + t_2 = 2 \times 0,5 + 1 = 2 \text{ с}.$$

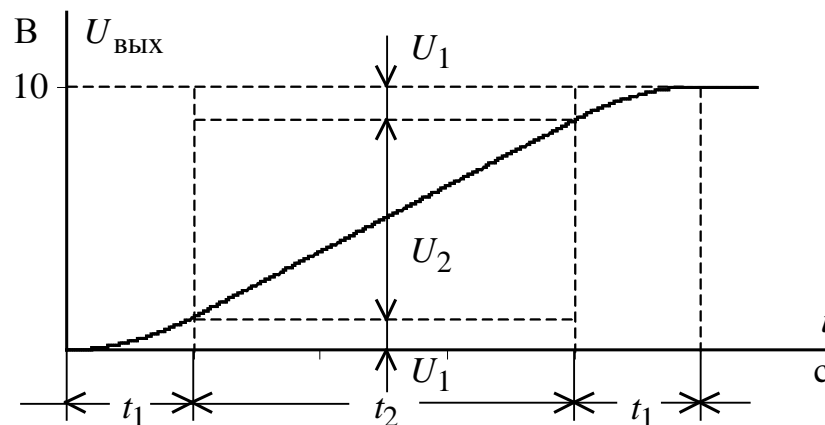


Рисунок 39 – Временная характеристика s – образного задатчика интенсивности

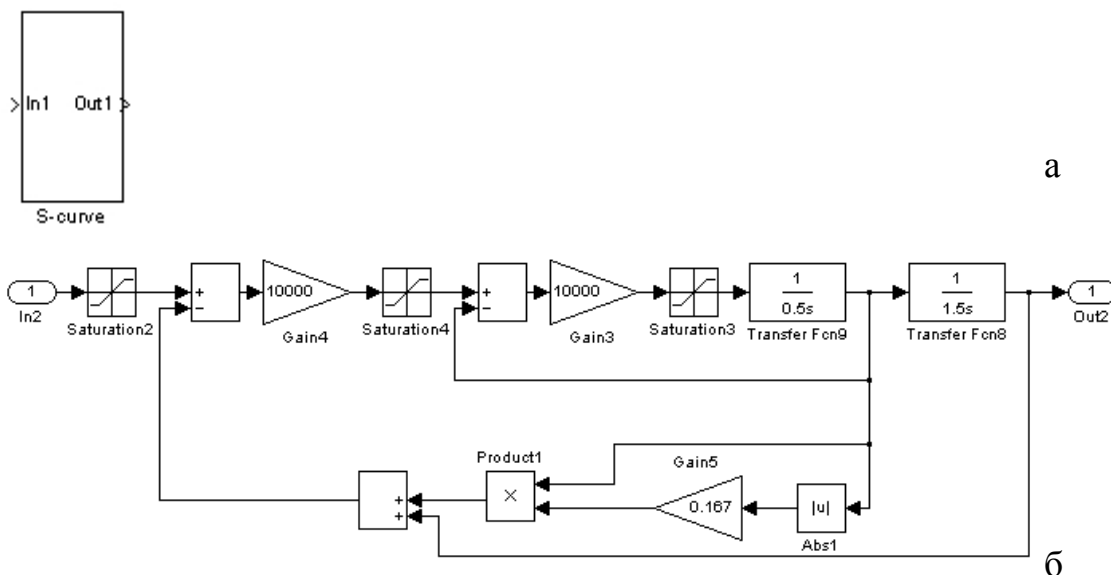


Рисунок 40 – Имитационная модель задатчика интенсивности с s – образной характеристикой: а – суперблок; б – схема набора модели

5.4 Имитационные исследования частотно–регулируемого асинхронного электропривода механизма подъема крана

Имитационные исследования электропривода механизма подъема крана проводятся с целью проверки его работоспособности в следующих основных технологических режимах: пуск на любую рабочую скорость; подъем с заданной скоростью; торможение; останов в режиме электрического торможения; пуск с заданной скоростью; торможение и останов электропривода в режиме электрического торможения.

В процессе имитационных исследований рассмотрены следующие режимы работы системы электропривода:

- весоизмерение и формирование задания на ток в режиме подъёма и спуска;
- пуск электропривода на заданную рабочую скорость подъёма груза;
- торможение и останов электропривода при подъёме;
- пуск электропривода на заданную рабочую скорость спуска;
- торможение и останов электропривода при спуске груза.

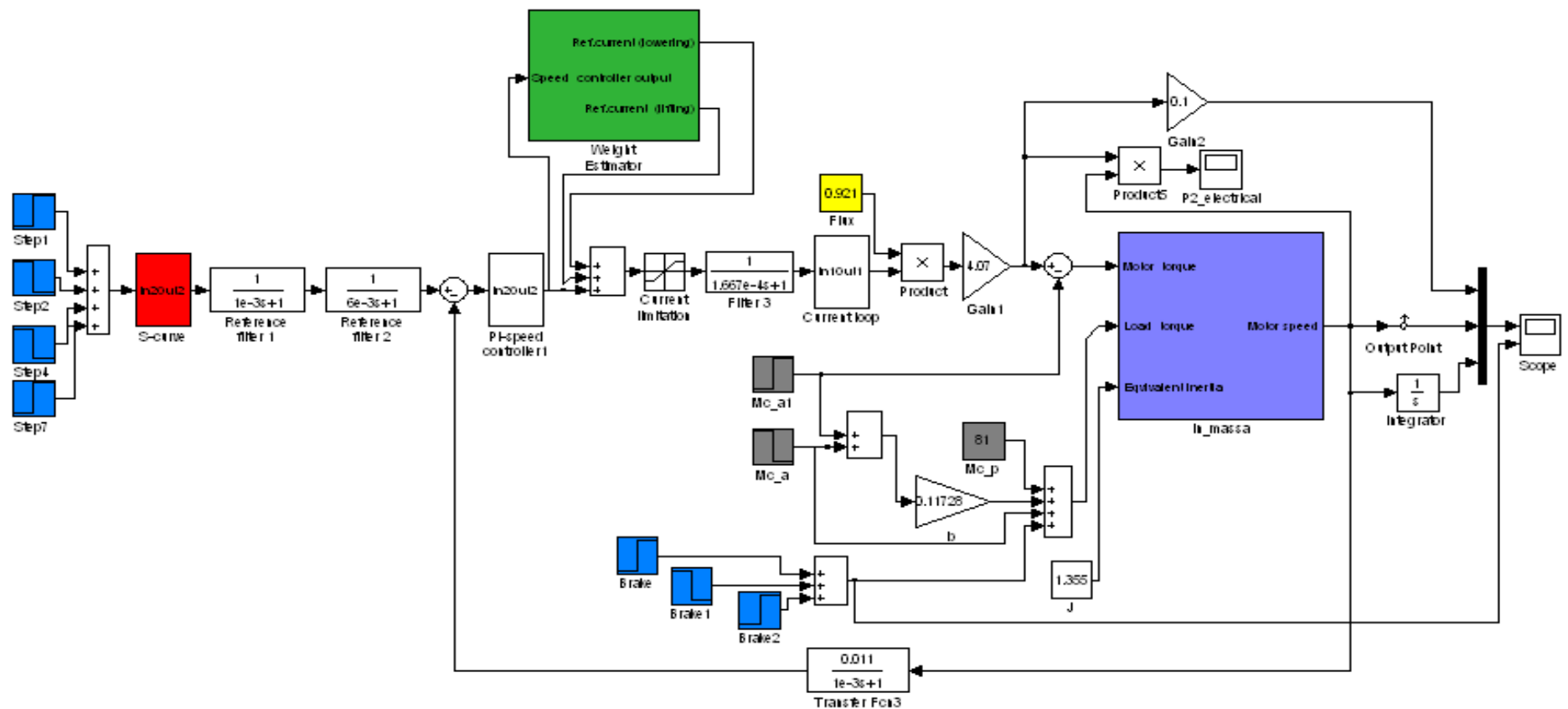


Рисунок 41 – Имитационная модель нелинейной САУ РЭП механизма подъема крана
в среде Simulink/Matlab

В качестве примера на рисунках 32 и 33 приведена отработка электроприводом подъемного механизма принятого цикла при подъеме и спуске максимального груза и пустого грузозахватывающего устройства соответственно.

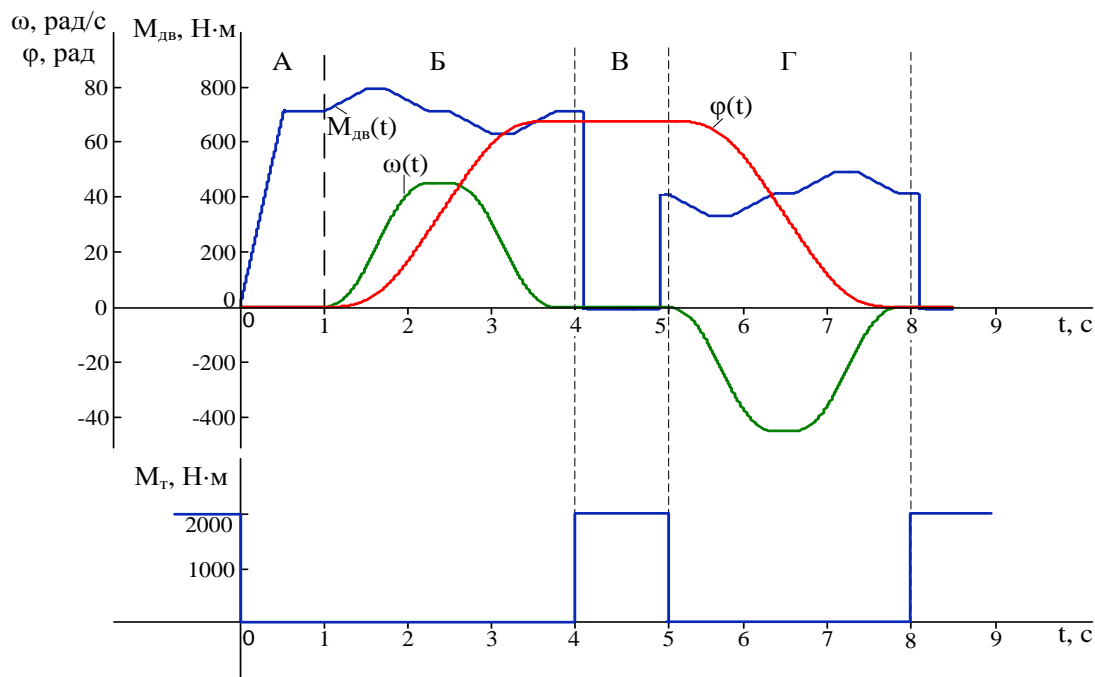


Рисунок 42 – Результаты имитационных исследований отработки электроприводом механизма подъема заданного цикла при подъеме/спуске максимального груза $M_{гр.макс} = 561,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $U_{зс} = 1 \text{ В}$
 А – весоизмерение; Б – подъем; В – пауза; Г – спуск

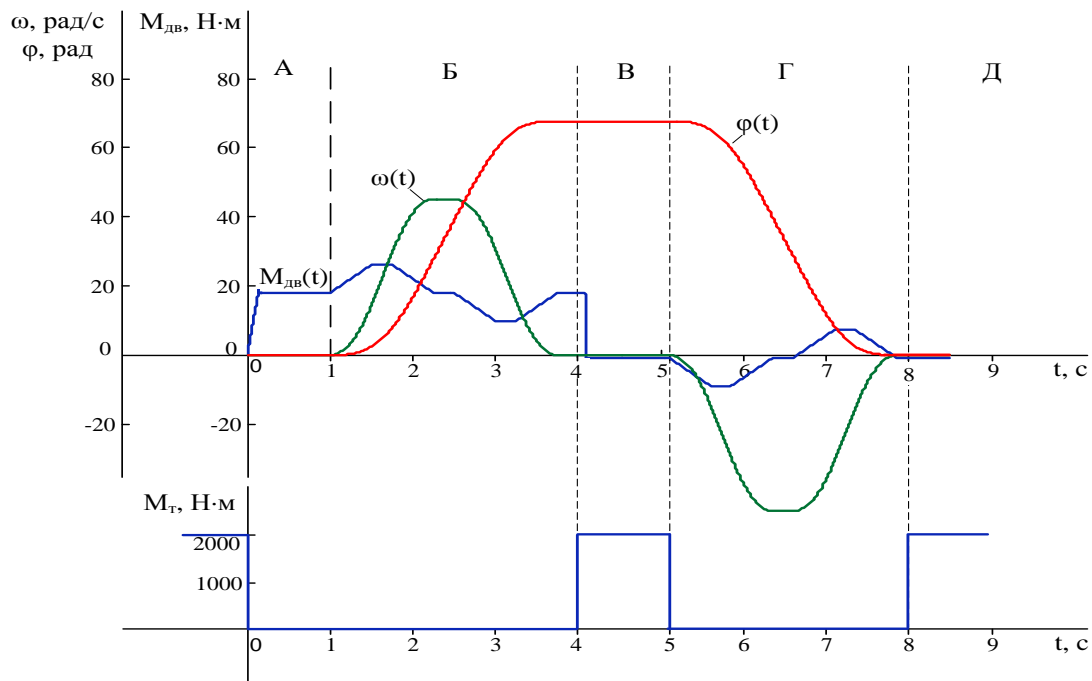


Рисунок 43 – Результаты имитационных исследований отработки электроприводом механизма подъёма заданного цикла при подъеме/спуске пустого грузозахватывающего устройства $M_{гр.мин} = 86,275 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $U_{зс} = 1 \text{ В}$

А – весоизмерение; Б – подъем; В – пауза; Г – спуск

На рисунке 44 показаны графики электромагнитной мощности, передаваемой от статора к ротору при подъеме и от ротора к статору при спуске. С учетом электрических потерь и потерь в стали. Эти графики позволяют оценить потребляемую из сети мощность и мощность, возвращаемую в звено постоянного тока.

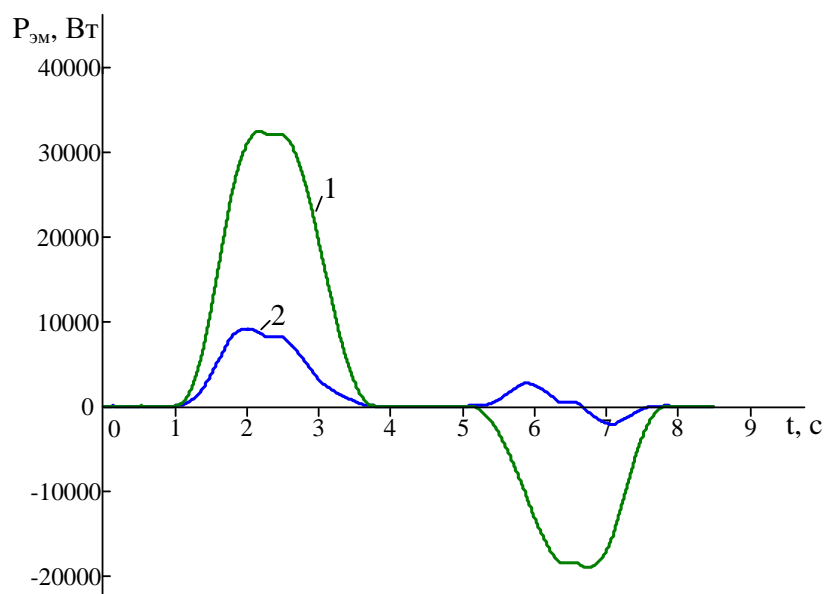


Рисунок 44 – Графики электромагнитной мощности $U_{зс} = 1$ В
 1 – при подъеме/спуске максимального груза $M_{гр.макс} = 561,8$ Н⋅м 2 – пу-
 стого
 грузозахватывающего устройства $M_{гр.мин} = 86,275$ Н⋅м

Выводы: Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что асинхронный частотно-регулируемый электропривод при векторном управлении обеспечивает требуемый диапазон регулирования скорости механизма подъема крана. Переходные процессы в электроприводе протекают плавно с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Время пуска и электрического торможения электропривода определяется и может быть изменено путем выбора значения постоянной времен задатчика скорости.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Ортиков Шахзод Ихтиер угли

Институт	ЭНИН	Кафедра	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, и человеческих.	Стоимость материальных затрат, оплаты труда, прочие затраты.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.	Отчисления на социальные нужды и амортизационные отчисления.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Расчёт затрат на проектирование систем отопления и вентиляции.
2. Определение прибыли и договорной цены проекта отопления и вентиляции.
3. Техничко-экономический расчёт системы отопления.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Расходы на этапе проектирования на материальные затраты.
2. Расходы на этапе проектирования на заработную плату.
3. Смета затрат.
4. Смета наличных капитальных затрат.
5. Результаты расчёта приведённых затрат.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение социально-гуманитарных наук, Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Ортиков Шахзод Ихтиер угли		

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование

В настоящее время, козловые краны являются одним из основных средств механизации перегрузочных и складских работ в различных отраслях народного хозяйства. Козловые подъемные машины долговечны и эксплуатируются десятки лет. Учитывая их производительность, они приносят хороший доход.

В семействе козловых подъемных устройств достойное место занимает уникальный по своему применению кран козловой ЛТ 62. Козловой кран ЛТ-62 обеспечивает непрерывную погрузку и выгрузку в крупных складских терминах, складах, также находит применение на монтаже конструкций.

В связи с тем, что главную роль в создании условий высокой производительности подъемно-транспортного оборудования отводится электроприводу, то с учетом сложной специфики работы такого оборудования необходимо отдавать предпочтение простым и высоконадежным системам электроприводов. Механизм горизонтального передвижения козлового крана выполняется на основе двухдвигательного электропривода для обеспечения заданных эксплуатационных показателей выполняет все предъявляемые к нему требования и обеспечивать высокую надежность работы оборудования.

Анализ технической целесообразности заключается в выявлении преимуществ и недостатков, с точки зрения повышения технического уровня, в замене однодвигательного электропривода на двухдвигательный электропривод соответствии с техническими условиями.

Он состоит из определения потенциальных потребителей, расчета и анализа технико-экономических показателей, из расчета бюджета проекта

по внедрению двухдвигательного электропривода, расчета годового экономического эффекта.

6.1.1 Потенциальные потребители результатов НТП

Целевым рынком сбыта для разрабатываемого устройства являются лесопильно-деревообрабатывающие предприятия и склады леспромхозов. Вместе с тем, аналогичные схемные решения устройства можно использовать в различных отраслях промышленности: большие промышленные предприятия, деятельность которых включает уникальные виды работ.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

При разработке электропривода в отдающем устройстве разработчик руководствовался следующими соображениями: стоимость двигателя большей мощности больше чем у двух двигателей меньшей мощности, затраты на его эксплуатацию больше (в сравнении с двумя).

Рассматривалось три варианта исполнения:

1. Преобразователь частоты Schneider Electric Altivar 71, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АМТКФ132L6 мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, редуктор 1Ц2У-200-25-12.

2. Преобразователь частоты Веспер ЕЗ-9100, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором МТКФ312-6 мощностью 15

кВт,1000 об/мин, редуктор 1Ц2У-200-25-12. Для связи с контроллером линии необходим дополнительный модуль связи Device-NET.

3. Асинхронный двигатель с фазным ротором МТН312-6 мощностью 15 кВт,1000 об/мин, редуктор 1Ц2У-200-25-12 с релейно-контакторным управлением.

Таблица 8 - Стоимость комплекта

Наименование комплектующих	Вариант исполнения					
	1		2		3	
	марка	стоимость	марка	стоимость	марка	стоимость
Двигатель	АМТКФ132L6	2×31216	МТКФ312-6	64208	МТН312-6	82024
Редуктор	1Ц2У-200-25-12	2×27600	1Ц2У-200-25-12	27600	1Ц2У-200-25-12	27600
Коммутационная аппаратура	комплект	2×15180	комплект	15180	-	-
Модуль связи	интегрирован	0	приобретается отдельно	41905	-	-
ПЧ	Schneider Electric Altivar 71	2×28598	Веспер ЕЗ-9100	57960	-	-
Релейно-контакторная система управления	-	-	-	-	комплект	107600
Сумма за комплект	205188		210853		227224	

Данные для оценки конкурентоспособности разрабатываемого новшества приведены в таблице 9.

Показатель конкурентоспособности двухдвигательного электропривода по отношению к однодвигательному $k_{тп}$ будет равен [17, 19]

$$k_{тпi} = \frac{Q_n}{Q_{ki}};$$

$$k_{тп1} = \frac{Q_n}{Q_{k1}} = \frac{0,9414}{0,9312} = 1,1;$$

$$k_{тп2} = \frac{Q_n}{Q_{k1}} = \frac{0,9414}{0,6349} = 1,48.$$

где $k_{тпi}$ – показатель конкурентоспособности двухдвигательного электропривода по отношению к однодвигательному электроприводу по техническим параметрам;

Q_n, Q_k – соответствующие групповые технические показатели двухдвигательного и однодвигательного электроприводов.

Таблица 9 – Оценка технического уровня проекта

Характеристики	Вес показателей	Двухдвигательный электропривод		Однодвигательный электропривод с двигателем МТКФ312-6		Однодвигательный электропривод с двигателем МТН312-6		Гипотетический объект	
		P _i	q _i	P _i	q _i	P _i	q _i	P ₁₀₀	q ₁₀₀
1 Полезный эффект новшества (интегральный показатель качества), Q		Q _n =0,9414		Q _{k1} =0,9312		Q _{k2} =0,6389		Q ₁₀₀ =1	
1.1 Мощность двигателя, кВт	0,175	2×7,5	1	15	1	15	1	15	1
1.2 Капитальные затраты на электрооборудование	-								
1.2.1 Стоимость двигателя, руб	0,105	2×31216	0,96	64208	0,93	82024	0,73	60000	1
1.2.2 Вес электрооборудования, кг	0,075	2×100	0,75	175	0,86	250	0,6	150	1
1.3 Эксплуатационные данные	-								
1.3.1 Коэффициент полезного действия, %	0,105	87	0,87	82	0,82	84	0,84	100	1
1.3.2 Удобство эксплуатации	0,100	-	0,95	-	0,85	-	0,75	-	1
1.4 Управляемость привода	0,175	Преобразователь частоты	1	Преобразователь частоты	1	Релейно-контакторная система управления	0	Преобразователь частоты	1
1.5 Простота и надежность автоматизации	0,085	-	0,9	-	0,9	-	0,75	-	1
1.6 Простота проведения монтажных работ	0,085	-	0,9	-	0,9	-	0,75	-	1
1.7 Срок службы	0,095	20	1	20	1	10	0,5	20	1

Производим выбор варианта (комплекта) с использованием метода экспертных оценок.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели: технические – мощность, управления, срок службы, и экономические – капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

По выбранным критериям с помощью экспертов необходимо присвоить коэффициент весомости, отражение их важности.

В результате сравнения и оценки критериев выбран первый вариант исполнения, т.к. у него оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. Дальше расчеты производятся для двухдвигательного электропривода.

6.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование необходимо для обеспечения оптимального ведения работ, уменьшение затрат, увеличение производительности труда.

6.2.1 Планирование научно-исследовательских работ

Этапы и содержание НИР приведены в таблице 10.

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой-либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в календарный план-график, таблица 11, 12.

Таблица 10 - Состав и структура основных этапов

№ этапов	Наименование этапов	Продолжительность этапов в %
Научно-теоретические исследования		
1.	Подготовительный этап	7
2.	Обработка теоретической части	10
3.	Выбор и расчет электродвигателя	20
4.	Математическая модель АД	20
5.	Выравнивание нагрузки двухдвигательного электропривода механизма передвижения козлового крана	30
6.	Внесение корректив в разработки	9
7.	Выводы и предложения по теме	2
8.	Завершающий этап	2
	Всего	100

Таблица 11 - Состав информации для построения календарного графика

№ п/п	Перечень работ	Трудоемкость работ, чел.-час.	Количество исполнителей	Длительность выполнения работ, чел.-час.	Длительность выполнения всех видов работ по проектам, чел.-час.
1	2	3	4	5	6
1	Подготовительный этап	48	2	24	48
2	Обработка теоретической части				72
2.1	Технологический процесс	24	1	24	
2.2	Кинематические особенности козлового крана ЛТ-62	24	1	24	
2.3	Особенности двухдвигательного электропривода	24	1	24	
3	Выбор оборудования				108
3.1	Выбор и расчет электродвигателя	24	1	24	
3.2	Расчет параметров схемы замещения АД	24	1	24	
3.3	Выбор преобразователя частоты	24	1	24	
3.4	Расчет статических характеристик электропривода	36	1	36	
4	Оптимизация контуров регулирования				144
4.1	Оптимизация контура тока	48	1	48	
4.2	Оптимизация контура потокосцепления	48	1	48	
4.3	Оптимизация контура скорости	48	1	48	
5	Разработка имитационной модели электропривода в Matlab				280
5.1	Математическая модель АД	40	1	40	
5.2	Проверка адекватности разработанной модели	56	1	56	
5.3	Выравнивание нагрузки двухдвигательного электропривода механизма передвижения козлового крана	128	2	64	
5.4	Графики переходных процессов для двух двигателей с разными параметрами	80	2	40	
6	Внесение корректив в разработки	80	2	40	80
7	Выводы и предложения по теме	32	2	16	32
8	Завершающий этап	16	1	16	16

Таблица 12 – Линейный график выполнения работ

[illegible]

6.2.2 Планирование пуско-наладочных работ

Пуско-наладочные работы являются завершающим звеном производства линии, обеспечивающие ввод в эксплуатацию объект. Ниже рассмотрены основные этапы проведения пуско-наладочных работ. Работы выполняются высококвалифицированными специалистами и рабочими по заранее разработанным и согласованным программам. Электротехнические пуско-наладочные работы должны обеспечивать проверку и испытание электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок, технической документацией предприятия-изготовителя оборудования и другими нормативными документами, а также получение заданных проектом электромеханических параметров работы оборудования. [18]

Результат проверок, снятие характеристик аппаратуры, испытания и других работ, входящих в комплекс наладки электроустановок, оформляются в виде протоколов установленной формы, которые прикладываются к акту сдачи объекта в эксплуатацию.

Проведению ПНР в короткие сроки и с высоким качеством в значительной степени способствуют подготовительные мероприятия:

- заблаговременное ознакомление с проектом электроустановки, выявление неточностей, пробелов и других дефектов проекта;
- выявление и подсчёт объёма ПНР, определение необходимого количества наладочного персонала;
- подготовка комплектов наладочной аппаратуры и инструмента;
- составление рабочего графика проведения ПНР и согласование его с монтажной организацией и заказчиком;
- внешний осмотр электрооборудования и установка количества электромонтажных работ;
- определения технических характеристик электрооборудования;

- составление рабочей программы испытаний и наладки электрооборудования с учётом особенностей налаживаемого объекта.

Для того чтобы качественно и в короткие сроки произвести наладку электрооборудования и электрических схем, необходимо хорошее знание данного оборудования, проектные схемы и расчёты электрических параметров. Поэтому наладочный персонал комплектуется из опытных и квалифицированных специалистов.

Цены на проведение пуско-наладочных работ определены, исходя из сложности серийно выпускаемых, освоенных промышленностью электрических устройств, в соответствии с требованиями 3 части СНиП "Организация, производство и приём работ и технических условий на изготовление и поставку электротехнических устройств.

При составлении смет или расчёте на выполнение работ, когда договором предусматривается промежуточная оплата, следует руководствоваться структурой пуско-наладочных работ, приведённой в таблице 13.

Таблица 13 - Структура ПНР

№	Состав работы	Стоимость ПНР (%) от общей сметной стоимости
1	Подготовительные работы	10
2	Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования	40
3	Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования	30
4	Комплексное опробование	15
5	Оформление отчётной и приемно-сдаточной документации	5

Ценами учтены затраты на следующие работы:

1. Подготовительные работы - организаторскую и инженерную подготовку работ; изучение электротехнической части проекта и ознакомление с технической документацией; получение от заказчика согласованных установок устройств защиты и автоматики; подготовку парка приборов, а также программ наладки и комплекта протоколов.

2. Внешний осмотр электрооборудования на соответствие проекту; проверку и настройку отдельных элементов и функциональных групп; сборку испытательных схем; проверку параметров и снятие характеристик отдельных устройств; измерение сопротивления изоляции; проверку соединения обмоток; регулировку релейной аппаратуры.

3. Наладку электрооборудования под напряжением, включая силовые цепи; снятие и получение необходимых характеристик, сопоставление их с расчётными данными проекта; испытание и наладку оборудования в холостую и под нагрузкой совместно с технологическим оборудованием.

4. Обеспечение взаимных связей устройств в составе электроустановки и механизмов в составе агрегата; согласование входных и выходных параметров и характеристик отдельных механизмов в составе агрегата; обеспечение на агрегатах электрических и электромеханических параметров и режимов, предусмотренных проектом.

Составление в одном экземпляре протоколов пуско-наладочных работ и испытаний; внесение в протокол схем, которые были изменены в процессе работы.

Таблица 14 - Этапы и содержание пуско-наладочных работ

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1 Подготовительный этап	1.1	Ознакомление с проектом, выявление неточностей. Составление рабочего графика проведения пуско-наладочных работ.	Руководитель, представитель заказчика, бригада наладчиков
	1.2	Подготовка аппаратуры и инструмента.	Бригада наладчиков
	1.3	Внешний осмотр электрооборудования и проверка готовности.	Бригада наладчиков
	1.4	Определение соответствия техническим характеристикам.	Бригада наладчиков
	1.5	Составление рабочей программы испытаний и наладки с учетом особенностей объекта.	Бригада наладчиков

Продолжение таблицы 14

2 Проверочные работы	2.1	Проверка количества электромонтажных работ и их соответствие к рабочим чертежам проекта.	Бригада наладчиков
	2.2	Проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в необходимых случаях характеристик.	Бригада наладчиков
	2.3	Проверка правильности выполнения схем.	Бригада наладчиков
	2.4	Проверка работы электрических систем, блокировок и автоматики.	Бригада наладчиков
3 Наладочные работы	3.1	Ввод параметров двигателя в преобразователь частоты, проверка работы системы.	Бригада наладчиков
	3.2	Проверка работы и функционирования блоков сигнализации и защиты.	Бригада наладчиков
	3.3	Ввод параметров системы в преобразователь частоты.	Бригада наладчиков
	3.4	Проверка диапазона изменения напряжения преобразователя, настройка устройства задания скорости.	Бригада наладчиков
	3.5	Итоговая проверка защиты.	Бригада наладчиков
	3.6	Настройка и снятие необходимых характеристик элементов автоматического управления в соответствии с требованиями технологического процесса, испытание оборудования в холостую.	Бригада наладчиков
4 Комплексное опробование	4.1	Обеспечение взаимных связей устройств в составе электрической установки.	Бригада наладчиков
	4.2	Согласование входных и выходных параметров на входе и выходе характеристик отдельных механизмов.	Бригада наладчиков
	4.3	Проверка режимов работы системы при управлении с пульта управления.	Бригада наладчиков
5 Оформление документации	5.1	Составление протоколов пуско-наладочных работ.	Бригада наладчиков
	5.2	Приемка крана. Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время пуско-наладочных работ.	Руководитель, представитель заказчика, бригада наладчиков

6.2.3 Состав бригады для проведения пуско-наладочных работ

Число членов бригады и распределение объёмов пуско-наладочных работ между членами бригады зависит от профессиональной подготовки

наладчиков и их практического опыта, а также диктуется рядом требований к пуско-наладочным работам:

1. Работы характеризуются узкой специализацией, сложностью.
2. По правилам и нормам эксплуатации и настройки электрооборудования напряжением до 1000 В запрещаются работы на оборудовании, находящемся под напряжением, менее чем двум членам бригады.

Распределение объёма работ между членами выполняет бригадир, как опытный специалист, знающий каждого члена бригады. Продолжительность выполнения любой операции на каждом этапе зависит от технической сложности. Состав бригады, выполняющей пуско-наладочные работы приведён в таблице 15.

Таблица 15 - Состав бригады, выполняющей пуско-наладочные работы

	Состав бригады	Категория
1	Инженер-наладчик (бригадир)	I
2	Инженер-наладчик	II
3	Инженер-наладчик	III

С бригадой наладчиков, производящих пуско-наладочные работы, заключено трудовое соглашение, в котором оговорён срок поведения работ и сумма, на которые заключается соглашение. Срок проведения пуско-наладочные работы составляет 22 рабочих дня продолжительностью 8 часов.

Распределение объёма и времени выполнения пуско-наладочных работ по этапам отражено в таблице 16.

Таблица 16 - Распределение времени выполнения пуско-наладочных работ

№	Члены бригады	Время выполнения работ по этапам, раб. дни				
		1	2	3	4	5
1	Инженер-наладчик (бригадир)	3	7	6	4	2
2	Инженер-наладчик	3	7	6	4	2
3	Инженер-наладчик	3	7	6	4	2

По таблице 16 строим календарный график проведения пуско-наладочных работ, представленный в таблице 17.

Таблица 17 - Календарный план-график пуско-наладочных работ

Этап	Исполнитель	Дни		Выполнение пуско-наладочных работ																														
		Рабочие	Календарные	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Подготовительный этап	Инженер-наладчик I	3	3																															
	Инженер-наладчик II	3	3																															
	Инженер-наладчик III	3	3																															
Проверочные работы	Инженер-наладчик I	7	9																															
	Инженер-наладчик II	7	9																															
	Инженер-наладчик III	7	9																															
Наладочные работы	Инженер-наладчик I	6	10																															
	Инженер-наладчик II	6	10																															
	Инженер-наладчик III	6	10																															
Комплексное опробование	Инженер-наладчик I	4	6																															
	Инженер-наладчик II	4	6																															
	Инженер-наладчик III	4	6																															
Оформление документации	Инженер-наладчик I	2	2																															
	Инженер-наладчик II	2	2																															
	Инженер-наладчик III	2	2																															

6.3 Расчет бюджета проекта по внедрению двухдвигательного электропривода

6.3.1 Смета затрат на пуско-наладочные работы

Между заказчиком и пусконаладочной бригадой составляется договор на проведение ПНР с выплатой после завершения работ договорной цены, согласно ценнику, в общем размере 105,118 тыс.руб. В договоре оговорено, что инженер-наладчик бригадир (I категория) получает 40% (42,047 тыс.руб.), инженер-наладчик (II категория) 32% (33,638 тыс.руб.), инженер-наладчик (III категория) 28% (29,433 тыс.руб.) от фонда оплаты труда.

Дополнительные затраты по заработной плате приведены в таблице 18.

Таблица 18 - Дополнительные затраты по заработной плате

№	Наименование статей	Плановые, тыс.руб	Примечание
1	Стоимость работ	58,797	-
2	Районный коэффициент	17,639	30% от п.1
3	Коэффициент, действующий при проведении ПНР в зоне работы действующего оборудования	5,879	10% от п.1
4	Коэффициент, учитывающий работы на установке, находящейся под напряжением	17,797	30% от п.1
5	Основная заработная плата, включая доплаты	100,112	п.1+п.2+п.3+п.4
6	Дополнительна заработная плата	5,006	10%отп.5
7	Итого	105,118	п.5+п.6

Затраты предприятия на проведение пуско-наладочных работ приведены в таблице 19.

Таблица 19 - Общая стоимость затрат на проведение ПНР

№	Наименование статей	Плановые, тыс. руб.	Примечание
1	Заработная плата	105,118	-
2	Отчисления в внебюджетные фонды	31,535	30% от п.1
3	Накладные расходы	16,824	16% от п.1
4	Себестоимость работ	153,477	п.1+ п.2+п.3
5	Прибыль	12,278	8% от п.4
6	Цена ПНР	165,755	п.4+п.5
7	НДС	29,836	18% от п.6
8	Итого	195,591	п.6 + п.7

Цены всех комплектующих представлены в таблице 8.

Таким образом, на проведение пуско-наладочных работ заказчик затратил 195,591 тыс.руб, на приобретение оборудования 205,188 тыс.руб. Работы были проведены за 22 рабочих дня.

6.3.2 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию;
- Заработная плата обслуживающего персонала;
- Амортизационные отчисления;
- Затраты на ремонт;
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией.

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле [15]:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \times F_{\text{д}} \times k_{\text{м}} \times k_{\text{в}} \times k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \times k_{\text{с}}} = \frac{7,5 \times 4000 \times 0,6 \times 0,6 \times 0,7}{0,92 \times 0,9} = 9130,4 \text{ кВт} \times \text{ч}$$

где $P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования,

$$P_{\text{уст}} = 2 \times 7,5 \text{ кВт};$$

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования,
принимаем $F_{\text{д}} = 4000$ часов;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей,
принимаем $k_{\text{м}} = 0,6$;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени,
принимаем $k_{\text{в}} = 0,6$;

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0,7-0,8);
принимаем $k_{\text{з}} = 0,7$;

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0,92-0,95);
принимаем $k_{\text{с}} = 0,92$;

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0,9-0,93),

принимаем $k_{\text{дв}}=0,9$.

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается [15]:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \times C_{\text{э}} = 9130,4 \times 3,52 = 32,139 \text{ тыс.руб/г.}$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт-часа электроэнергии для промышленных предприятий,
принимаем $C_{\text{э}}=3,52$ руб.

6.3.3 Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации [18]

$$A_{\text{год}} = K \times \frac{N_A}{100} = 176,828 \times \frac{9,6}{100} + 15,180 \times \frac{3,5}{100} = 5,993 + 4,465 = 10,458 \text{ тыс.руб.}$$

где K – капитальные вложения в электрооборудование;

N_A – проценты отчислений на амортизацию,

принимаем на электродвигатели – $N_{\text{Адв}}=9,6\%$; на преобразователи, выключатели, трансформаторы и т.д. - $N_{\text{Адв}}=3,5\%$.

6.3.4 Заработная плата обслуживающего персонала

Обслуживание частотного электропривода, двигателя и редуктора входит в обязанности оперативно-ремонтного персонала ремонтной службы предприятия.

При выполнении работы наладчик имеет повременную оплату труда. Оплата труда включает в себя основную и дополнительную заработную плату. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, районный коэффициент). [18]

Дневная заработная плата

$$Z_{\text{нал}} = \frac{(P_{\text{д}} \times Z_{\text{т}} + N_{\text{надб}}) \times P_{\text{к}}}{F_{\text{д}}} = \frac{(1,3 \times 600 + 3000) \times 4,4}{22} = 985,09 \text{ руб / д;}$$

где $Z_{\text{т}}$ - оклад в месяц,

принимаем оклад наладчика по 6 разряду $З_{\text{т}}=9100$ руб.;

$H_{\text{надб}}$ – надбавка за сложность,

принимаем $H_{\text{надб}}=3000$ руб.;

$P_{\text{д}}$ – коэффициент доплаты за должность,

принимаем $P_{\text{д}}=1,4$;

$P_{\text{к}}$ – коэффициент, учитывающий районное регулирование,

принимаем $P_{\text{к}}=1,3$;

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяц,

принимаем $F_{\text{д}}=22$ дня.

Основная заработная плата за период работы

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{т}} \times P_{\text{д}} = 985,09 \times 247 = 243,317 \text{ тыс.руб.}$$

где $t_{\text{р}}$ - период рабочего времени,

принимаем $t_{\text{р}} = 247$ дней – 1 год;

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается:

$$З_{\text{д}} = 0,15 \times З_{\text{осн}} = 0,15 \times 243,317 = 36,497 \text{ тыс / руб.}$$

Суммарная зарплата:

$$З_{\text{а}} = З_{\text{д}} + З_{\text{осн}} = 243,317 + 36,497 = 279,815 \text{ тыс.руб.}$$

Расчет затрат на оплату труда сведем в таблицу 20.

Таблица 20 - Затраты на оплату труда

	Исполнитель
Основная заработная плата, тыс.руб.	243,317
Дополнительная заработная плата, тыс.руб.	36,497
Итого	279,815

6.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Страховые отчисления на сегодняшний день по существующему законодательству составляет 30 %

$$\text{Отч} = 30 \% \cdot Z_{\Sigma} = 30 \% \cdot 279,815 = 84,504 \text{ тыс.руб.}$$

Обязанности по обслуживанию крана занимают 10% рабочего времени наладчика. Зарплата обслуживающему персоналу в год составит:

$$Z_{\text{пер}} = 10 \% \times Z_{\text{а}} = 10 \% \times 279,815 = 27,982 \text{ тыс.руб.}$$

6.3.6 Общая сумма эксплуатационных расходов

Общая сумма эксплуатационных расходов складывается из затраты на силовую энергию C_{Σ} , годовых амортизационных отчислений $A_{\text{год}}$ и зарплаты обслуживающего персонала $Z_{\text{пер}}$.

$$P_{\text{а}} = C_{\text{эл}} + A_{\text{год}} + Z_{\text{пер}} = 32,139 + 10,458 + 27,982 = 70,579 \text{ тыс.руб / г.}$$

При расчетах общих затрат на эксплуатацию расходы на электроэнергию составили 32139 (руб/год), заработная плата обслуживающего персонала 27982 (руб/год), амортизационные отчисления 10458 (руб/год). Общая сумма эксплуатационных расходов составила 70579 (руб/год).

6.3.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. [19, 20]

6.3.8 Интегральный финансовый показатель

Определяется по формуле [16, 17]

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р.}i}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{max} – максимальная стоимость всего проекта;

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -го варианта (таблица 1) исполнения включая ПНР (таблица 12);

$$\Phi_{\text{р}1} = 205,188 + 195,591 = 400,779 \text{ тыс.руб.};$$

$$\Phi_{\text{р}2} = 210,853 + 195,591 = 406,444 \text{ тыс.руб.};$$

$$\Phi_{\text{р}3} = 227,224 + 195,591 = 422,743 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{\text{р}1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{400,779}{422,743} = 0,94;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{\text{р}2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{406,444}{422,743} = 0,95;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{\text{р}3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{422,743}{422,743} = 1.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

6.3.9 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определяется следующим образом по формуле [19, 20]

$$I_{\text{р}i} = \mathring{a} a_i \times b_i$$

где $I_{\text{р}i}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 21).

Таблица 21 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Модель №1	Модель №2	Модель №3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,13	4	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,17	4	3	3
3. Энергосбережение	0,23	5	5	4
4. Надежность	0,27	5	4	4
5. Материалоемкость	0,20	5	5	4
Итого	1	4,6	4,2	3,6

$$I_{\text{р-исп1}} = 0,13 \times 4 + 0,17 \times 4 + 0,23 \times 5 + 0,27 \times 5 + 0,20 \times 5 = 4,7;$$

$$I_{\text{р-исп2}} = 0,13 \times 4 + 0,17 \times 3 + 0,23 \times 5 + 0,27 \times 4 + 0,20 \times 5 = 4,26;$$

$$I_{\text{р-исп3}} = 0,13 \times 3 + 0,17 \times 3 + 0,23 \times 4 + 0,27 \times 4 + 0,20 \times 4 = 3,7.$$

6.3.10 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле [19, 20]

$$I_{\text{исп.i}} = \frac{I_{\text{р-исп.i}}}{I_{\text{финр.i}}}$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{финр.1}}} = \frac{4,7}{0,94} = 5;$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{финр.2}}} = \frac{4,26}{0,95} = 4,42;$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{\text{р-исп3}}}{I_{\text{финр.3}}} = \frac{3,7}{1,0} = 3,7.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 22) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (Θ_{cp}):

$$\Theta_{срi} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.1i}};$$

$$\Theta_{ср1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.1}} = \frac{5,0}{5,0} = 1;$$

$$\Theta_{ср2} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} = \frac{4,42}{5,0} = 0,88;$$

$$\Theta_{ср3} = \frac{I_{исп.3}}{I_{исп.1}} = \frac{3,7}{5,0} = 0,74.$$

Таблица 22 - Сравнительная эффективность разработки

№п/п	Показатель	Модель №1	Модель №2	Модель №3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	0,95	1,0
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,26	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	5,0	4,42	3,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	0,88	0,74

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на первый вариант исполнения, как наиболее эффективный.

В результате сравнения и оценки критериев комплектов электроприводов модель двухдвигательного электропривода, в состав которого входит следующее оборудование: два преобразователя частоты Schneider Electric Altivar 71, два двигателя АМТКФ132L6 мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, два редуктора 1Ц2У-200-25-12, т.к. у данного комплекта оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. Были составлены графики проведения НИР, определено количество работников, рассчитаны затраты. На основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, а также по итогам

сравнения финансовой и ресурсной эффективности наиболее эффективным получается первая модель электропривода. Таким образом, использование двухдвигательного электропривода дает положительный экономический эффект: сократится число обслуживающего персонала, а значит, сократятся затраты на оплату труда.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Ортиков Шахзод Ихтиёр угли

Школа	Инженерная школа энергетика (ИШЭ)	Отделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Асинхронный ЭП подъёмной лебедки мостового крана грузоподъёмностью 35 тонна. Центральный ремонтно механический завод
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<ul style="list-style-type: none"> - Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ потенциально возможных разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности 2.2. Анализ потенциально возможных разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности;	Анализ следующих вредных факторов: <ul style="list-style-type: none"> - неудовлетворительный микроклимат (повышенная интенсивность теплового излучения); - Повышение уровней шума; - повышенный вибрации; - недостаточное освещение; - электромагнитное поле - Анализ следующих опасных факторов: - поражение электрическим током; - механические травмы.
3. Экологическая безопасность	Анализ воздействия на атмосферу: выбросы загрязняющих веществ в результате деятельности обжигового цеха. <ul style="list-style-type: none"> - Анализ воздействия на литосферу: образование отходов в результате деятельности инструментального цеха. защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта

	на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	-Возможные ЧС -Пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4Б2	Ортиков Шахзод Ихтиёр угли		

7.Социальная ответственность

В данном разделе проекта описан анализ вредных и опасных факторов при наладке и эксплуатации электропривода подъемника лебедки мостового крана грузоподъёмностью 35 тонна, мероприятия по устранению вредных и опасных факторов, анализ мероприятий по предотвращению пожаров и возгораний.

Высота помещения обеспечивает хорошую освещённость. Для безопасной работы человека большое значение имеет покрытие, сопротивление которого более 0,2 МОм и относится к токонепроводящему. Помещение цеха выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости 5,5[12]. Напряжение питания линии 220 и 380 В. Линия относится к электроустановкам до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

7.1.Правовые и организационные вопросы безопасности

Электро-технологический персонал производственных цехов и участков, не входящих в состав энергослужбы Потребителя, осуществляющий эксплуатацию электро-технологических установок и имеющий группу по электробезопасности II и выше, в своих правах и обязанностях приравнивается к электротехническому.

К самостоятельной работе допускаются лица прошедшие медицинское освидетельствование, курсовое обучение по теоретическим знаниям и практическим навыкам в работе в объёме программы, аттестацию квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте.

Первичный инструктаж рабочий получает на рабочем месте до начала производственной деятельности. Первичный инструктаж производит мастер цеха. Повторный инструктаж рабочий получает - ежеквартально.

После первичного инструктажа в течение первых двух – пяти смен должен выполнять работу под наблюдением мастера, либо наставника, после чего оформляется допуск к самостоятельной работе, который фиксируется датой и подписью инструктирующего и инструктируемого в журнале инструктажа.

Требования безопасности во время работы согласно ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ.

Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

- одеть рабочую обувь и одежду;
- заизолировать имеющиеся повреждения кабелей, соединений, зажимов и заземления;
- работать только исправными, заизолированными инструментами;
- убрать посторонние предметы, мешающие свободному перемещению;
- не допускать присутствия посторонних лиц при электромонтажных и других работах;
- не привлекать к работе лиц, не имеющих необходимой группы допуска по электробезопасности;
- работать только в диэлектрических перчатках;
- при использовании лестницы привлекать подсобного рабочего;
- пользоваться постоянными и предупредительными плакатами: предупреждающими «Под напряжением – опасно для жизни», запрещающими «Не включать – работают люди», разрешающими «Работать здесь», напоминающими «Заземлено»;
- не допускать замасливания кабелей, попадания на них искр, воздействия высокой температуры и падения тяжёлых предметов.

На предприятии все работники проходят проверки на выполнение всех вышеуказанных требований безопасности. Также перед допуском к оборудованию каждый работник проходит соответствующие инструктажи.

7.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.

Вредные производственные факторы - факторы, воздействие которых на работающих в определенных условиях людей может привести к заболеванию, снижению работоспособности и отрицательному влиянию на потомстве.

Объектом исследования является электропривод лебетки мостового крана грузоподъёмностью 35 тонна центрально ремонтно механический завода.

1. Неудовлетворительные метеоусловия.

Метеоусловия - это состояние воздушной среды, определяемое совокупностью ее параметров: температуры, влажности, скорости движения воздуха, а также атмосферного давления, теплового излучения.

Влияние метеоусловий на организм человека достаточно сложно и многообразно. При благоприятном сочетании метеопараметров сохраняется нормальное функциональное состояние организма, и создаются предпосылки для плодотворного труда. Неблагоприятные условия снижают работоспособность, могут вызвать изменение частоты пульса, дыхания, артериального давления, напряжение нервной системы, перегрев организма и т.д.

Указанные обстоятельства значительно осложняют осуществление обслуживания скважин, создают дополнительные трудности в обеспечении безопасности этого процесса. В ТК РФ статья 109 сказано, что: На отдельных видах работ предусматривается предоставление работникам в течение рабочего времени специальных перерывов, обусловленных технологией и организацией производства и труда. Виды этих работ, продолжительность и порядок предоставления таких перерывов устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка.

(в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ)

2. Превышение уровня шума

Основными источниками шума при работе являются: дизельный генератор, обеспечивающий работу механизмов обеспечивающий работу лебедки.

Шумом является всякий неприятный для восприятия звук. Как физическое явление представляет собой совокупность звуков, слышимых в диапазоне от 16 до 20 тысяч Гц. Шум является не только причиной несчастных случаев, но и заболеваний. Шум снижает слуховую чувствительность, нарушает ритм дыхания, деятельность сердца и нервной системы.

Шум нормируется согласно ГОСТу 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 . В указанных нормативных документах предусмотрены два метода нормирования шума: по предельному спектру шума и по интегральному показателю - эквивалентному уровню шума в дБА.

Выбор метода нормирования в первую очередь зависит от временных характеристик шума. По этим характеристикам все шумы подразделяются на постоянные, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется не более чем на 5 дБА, и непостоянные, аналогичная характеристика которых изменяется за рабочий день более чем на 5 дБА. Нормирование по предельному спектру шума является основным для постоянных шумов.

Второй метод нормирования - по эквивалентному уровню шума - основан на измерении шума по шкале А шумомера. Эта шкала имитирует чувствительность человеческого уха. Уровень шума, измеренный по шкале А шумомера, обозначается в дБА. Постоянные шумы характеризуются по предельному спектру шума, а непостоянные только в дБА.

Основные мероприятия по борьбе с шумом:

- Ø виброизоляция оборудования с использованием пружинных, резиновых и полимерных материалов;
- Ø экранирование шума преградами;
- Ø звукоизоляция кожухами;
- Ø использование звукопоглощающих материалов;
- Ø использование средств индивидуальной защиты (наушники, беруши,

шлем и т. п.).

3. Недостаточная освещенность рабочей зоны

При проведении ГИС в ночное время суток рабочая зона (лебедка подъемника, мостки) во избежание травматизма и аварийных ситуаций, должна искусственно освещаться. Необходимые нормы освещенности рабочей зоны нормируются СНиП 23-05-95 в зависимости от разряда зрительной работы, контраста объекта с фоном и характеристикой фона. Рабочее освещение должно создавать равномерную освещенность и яркость рабочей поверхности, исключать возможность образования резких теней, обеспечивать правильную цветопередачу, быть экономным, надежным и удобным в эксплуатации.

7.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

1. Электроопасность, замыкание которой может произойти через тело человека.

Опасность поражения током при проведении полевых работ заключается в возможности поражения от токонесущих электропривод лебетки мостового крана грузоподъемностью 35 тонна из-за несоблюдения правил эксплуатации приборов, нарушения правил и инструкций, по техническим причинам таким, как ухудшение электроизоляции, дефектов монтажа; поэтому требования безопасности сводятся, в основном, к мерам электробезопасности.

При работе с электрическим током нужно соблюдать электробезопасность (ГОСТ 12.1.030-81 , ГОСТ 12.1.019-79 , ГОСТ 12.1.038-82).

При проведении работ электрическими методами электропривод лебетки мостового крана должна быть надежно заземлена во избежание поражения персонала электрическим током. Соединительные провода, применяющиеся для сборки электрических схем, не должны иметь обнаженных жил, неисправную изоляцию, концы их должны быть снабжены изолирующими вилками, муфтами или колодками. Сборку и разборку электрических схем, ремонт прово-

дов, а также проверку исправности цепей следует выполнять при выключенном источнике тока. Подобные работы должны производить не менее двух исполнителей, имеющих соответственный допуск по электробезопасности. Предупреждение электротравматизма на объектах достигается выполнением следующих мероприятий:

- устройством электроустановок таким образом, чтобы обеспечивалась недоступность прикосновения человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- устройством защитного заземления;
- защитой от перехода высокого напряжения в сеть низкого напряжения;
- применением защитных средств при обслуживании электроустановок;
- проведением планово-предупредительных ремонтов и профилактических испытаний устройством зануления;
- применением специальных схем защитного отключения;
- электрооборудования, аппаратов, сетей, находящихся в эксплуатации;
- организационными и техническими мероприятиями по обеспечению безопасности при проведении переключений и ремонтных работ;
- специальным обучением лиц, обслуживающих электроустановки.

Во время работы установки и пробного ее пуска запрещается прикасаться к кабелю. Не допускается проведение каких-либо работ на кабеле при спускоподъемных операциях. Защитой от прикосновения к токоведущим частям является изоляция проводов, ограждения, блокировки и защитные средства. Электрозащитные средства предназначены для защиты людей от поражения электрическим током. Средства защиты подразделяются на основные и дополнительные. К основным до 1000 В относятся: изолирующие клещи, указатели напряжения, диэлектрические перчатки и монтерский инструмент с изолированными рукоятками. Дополнительные до 1000 В диэлектрические калоши, коврики и подставки.

2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования

Возможность получить различного вида травму, возникает на всех этапах по-

левых работ, но возрастание риска подвергнуться механическому воздействию, а в следствии, получить травму можно при погрузочно-разгрузочных, монтажно-демонтажных работах на скважине и др.

Электропривод лебетки мостового крана и их эксплуатация должны соответствовать нормативным документам (ГОСТ 12.2.062-81 , ГОСТ 12.4.125-83 , ГОСТ 12.2.003-91).

Управление электропривод лебетки мостового крана должно производиться лицами, имеющими на это право, подтвержденное соответствующими документами. Лица, ответственные за исправное состояние и безопасную эксплуатацию оборудования назначаются приказом начальника партии. Оборудование, аппаратура и инструмент должны содержаться в исправности и чистоте, соответствовать техническим условиям завода - изготовителя и эксплуатироваться в соответствии с требованиями эксплуатационной и ремонтной документации. Запрещается применять не по назначению, а также использовать неисправные оборудование, аппаратуру, приспособления и средства индивидуальной защиты (рукавицы, спецобувь, спецодежда). Ремонт оборудования должен производиться в соответствии с положением. Ручной инструмент (кувалды, молотки, ключи, лопаты и т.п.) содержится в исправности. Инструменты с режущими кромками и лезвиями следует переносить и перевозить в защитных чехлах и сумках. Рабочие и инженерно - технические работники, находящиеся на рабочих местах, обязаны предупреждать всех проходящих об опасности и запрещать им подходить к аппаратуре, проводам и заземлениям.

Для работы с электроустановками ниже 1000 В применяются

а) Основные защитные средства:

- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- диэлектрические перчатки;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками.

б) Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- переносные заземления;
- изолирующие подставки и накладки;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

7.4 Производственная безопасность

Исследуемый электропривод работает в помещении, которое относится к первому классу, помещение без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность, сухое не запылённое[17]. К работе на допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управления и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

К работам по наладке электропривода допускаются не менее двух человек по письменному разрешению руководителя.

При настройке схем, замене предохранителей и т.д. необходимо использовать приборы и средства защиты, предназначенные для работ на электроустановках до 1000 В. Средства защиты, к которым относятся резиновые галоши, коврики, изоляция инструмента и т.д., должны проверяться перед каждым использованием. При наладке привода необходимо[17] применение запрещающих и предупреждающих плакатов. Испытание электропривода осуществляется сначала на холостом ходу затем под нагрузкой.

Для безопасной работы механической части электропривода необходимо иметь ограждения, обладающие соответствующей прочностью. Во время работы линии не допускается брать пучок жил в руки вблизи работающих органов линии[17].

Все токопроводящие части электропривода, проводка должны быть ограждены и не доступны для случайного прикосновения. С этой целью электропривод размещается в корпусе, защищенном от доступа. Часть про-

водки в рабочей зоне линии заключается в металлорукав или в специальные защитные щитки. Все металлические части, которые могут оказаться под напряжением, должны быть заземлены. Электропривод должен быть обеспечен аварийным выключателем для полного снятия напряжения с электродвигателя, проводки и приборов.

Работа с паяльником требует большой осторожности и соблюдением ряда правил:

1. Неправильная организация рабочего места может вызвать падение паяльника, что приведёт к разбрызгиванию припоя на большое расстояние, вызывая ожоги и другие травмы, например попадание в глаза.
2. При работе с паяльником необходимо осмотреть инструмент перед началом работы. Ручка не должна иметь трещины, она плотно крепится на патрубке. Изоляция проводов не должна иметь видимых внешних повреждений, прогаров.
3. Во время работы необходимо быть внимательным, всегда использовать подставку и ёмкость с флюсом. При пайке элементов и проводов нужно поддерживать их не рукой, а пользоваться пинцетом во избежании ожогов.

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К производственным вредностям относятся неблагоприятный микроклимат, производственная пыль, вредные газы и пары, недостаточная освещенность.

Микроклимат производственного помещения для категории работ *I* (легкая) согласно [16] характеризуются по таблице №20:

Таблица №20

Сезон года	Категория работ	Температура, град. С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный и переходный периоды года	Легкая I	20 - 23	60 - 40	0,2
	Средней тяжести IIa	18 - 20	60 - 40	0,2
	Средней тяжести IIб	17 - 19	60 - 40	0,3
	Тяжелая III	16 - 18	60 - 40	0,3
Теплый период года	Легкая I	20 - 25	60 - 40	0,2
	Средней тяжести IIa	21 - 23	60 - 40	0,3
	Средней тяжести IIб	20 - 22	60 - 40	0,4
	Тяжелая III	18 - 21	60 - 40	0,5

- температурой воздуха:
 - в холодный период года $t = (18 \div 20)^\circ\text{C}$;
 - в тёплый период года $t = (21 \div 23)^\circ\text{C}$;
- влажностью воздуха:
 - в холодный период года $(40 \div 60)\%$;
 - в тёплый период года $(40 \div 60)\%$;
- скоростью движения воздуха:
 - в холодный период года 0,2 м/с;
 - в тёплый период года 0,3 м/с.

7.5 Экологическая безопасность

Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоёмы и недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов земного шара, особенно в крупных промышленных центрах, уровень загрязнений существенно превышает допустимые санитарные нормы.

Загрязняющими веществами, выбрасываемыми в атмосферу в результате работы инструментального цеха, являются – пыль металлическая (оксиды железа), пыль абразивная, оксиды цинка,

Вода используется для вспомогательных целей: охлаждение (подогрева) исходных материалов и продукции предприятия, охлаждение деталей и узлов технологического оборудования, промывки и очистки продукции, что

приводит к загрязнению воды растворимыми и нерастворимыми примесями; хозяйственно бытового обслуживания работников предприятия.

Работа сопровождается образованием производственных отходов, а также отходов, приравненных к твердым коммунальным. В инструментальном цехе осуществляется ремонт инструментов, оснастка и производство специального инструмента, в результате этих процессов образуются отходы – лом цветных и черных металлов (втулки, катушки, провода, шестерни и т. д.). Твердые отходы 4-5 классов опасности собираются в контейнеры и по мере накопления (не реже одного раза в месяц) вывозятся на объекты размещения отходов. Отработанные люминесцентные лампы 1-го класса опасности подлежат временному накоплению, а затем передаются в специализированные организации для утилизации.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению ресурсо- и энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять электрооборудование с малым энергопотреблением.

7.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033-81 понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожарная безопасность является одним из важнейших разделов охраны труда на производстве. Существенную роль в профилактике и предотвращении пожаров играет правильный выбор режима работы электрооборудования с учётом класса по пожароопасности. Все производственные помещения по пожароопасности разделяются на пять основных категорий. В процессе получения изделия на линии видимые признаки, обуславливающие

возникновения пожара, отсутствуют и, следовательно, данное производство согласно [16] можно отнести к категории «Д» (Категория пожароопасности Д предназначена для производств, в которых используются, в холодном состоянии, негорючие вещества и материалы). Помещение по пожарной опасности относится к классу П-1 (ПУЭ). Однако, в данном технологическом процессе пожар может возникнуть из-за таков короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, что приводит к их выплавлению из изоляционного материала. В этом отношении опасны недопустимые электрические перегрузки проводов и обмоток электрических машин. В местах плохого контакта соединения проводников вследствие большого переходного сопротивления выделяется большое количество тепла. Это приводит к повышению температуры и воспламенения изоляции. Были установлены общие требования пожарной безопасности к объектам различного назначения всех отраслей народного хозяйства при строительстве и эксплуатации. Пожарная безопасность должна обеспечиваться:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;
- организационно-техническими мероприятиями.

Системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, обеспечивающих сохранность материальных ценностей, следует применять при наличии экономической эффективности от их внедрения. Экономическая эффективность должна рассчитываться с учётом вероятности возникновения пожара и возможного ущерба от него. Предотвращение пожара должно достигаться предотвращением образования горючей среды. Это должно обеспечиваться минимально возможным применением горючих материалов.

Автоматические установки пожаротушения и установки пожарной сигнализации, введённые в объект, должны удовлетворять требованиям проектной документации и отраслевым стандартам.

Огнетушители различных видов относятся к классу переносных средств пожаротушения. Огнетушители, годные к эксплуатации, должны

иметь бирку и маркировку и должны быть окрашены в красный цвет. Зарядка и перезарядка всех типов огнетушителей должна выполняться в соответствии с инструкциями по эксплуатации. Огнетушители должны располагаться в заметных и легко доступных местах, где исключено попадание солнечных лучей. Количество первичных средств пожаротушения определяется по [16]:

Пожарный ручной инструмент и инвентарь, размещенный на объекте, подлежит периодическому обслуживанию, включающему следующее:

1. Очистка от пыли, грязи и коррозии;
2. Восстановление соответствующей окраски.

Ящики с песком должны быть укомплектованы лопатой и иметь вместимость до 3 м³.

На рабочем месте каждый станок должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок, обеспечения возможности снятия напряжения всего оборудования с помощью расположенных вне помещения рубильников. Для курения должны быть отведены специальные места. В производственных помещениях должна обеспечиваться возможность эвакуации людей и оборудования в случае пожара. План эвакуации на случай пожара представлен на рисунке 31.

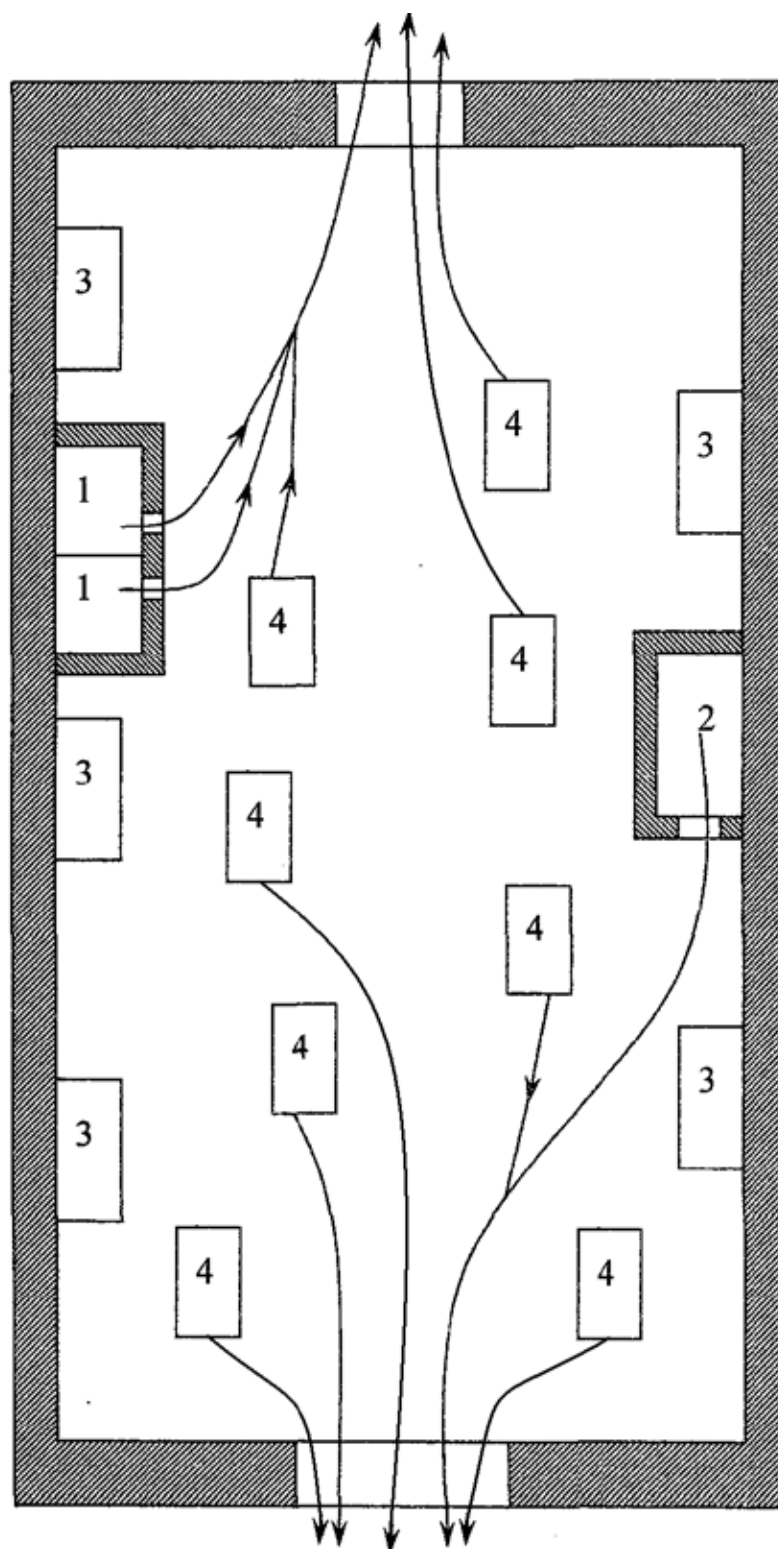


Рисунок 31 – План эвакуации на случай пожара: 1- руководство цеха; 2- ОТК; 3- первичные средства пожаротушения; 4- рабочие места.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был рассмотрен и рассчитан частотно–регулируемый электропривод механизма подъема крана. На основе анализа требования, предъявляемых к электроприводу, выбран крановый электродвигатель, предназначенный для частотного регулирования, и преобразователь частоты, обеспечивающий требуемый набор функций управления. В качестве способа управления выбрано векторное управление.

В процессе выполнения работы была определена область работы, рассчитаны параметры схемы замещения двигателя и его характеристики, определены параметры механической системы электропривода подъема. Выполнена оптимизация контуров регулирования линейной САУ РЭП. Предложено использовать ПИ–регуляторы тока, скорости и потокосцепления системы автоматического управления регулируемого электропривода и П-регулятор положения для следящего электропривода. Даны рекомендации по настройке регуляторов и определены ожидаемые показатели качества работы контуров регулирования.

Для проведения имитационных исследований в среде *Simulink* разработаны имитационные модели основных функциональных элементов с учетом нелинейности их характеристик, а также схемы набора моделей для исследования электропривода в режиме регулирования скорости и позиционирования с учетом упругости элементов кинематической цепи. В результате выполнения имитационных экспериментов установлено, что использование асинхронного частотно-регулируемого электропривода в механизме подъема крана позволяет осуществлять плавный разгон и торможение двигателя в соответствии с заданной временной зависимостью, обеспечивая плавное протекание переходных процессов и снижение динамических нагрузок в элементах кинематической цепи, тем самым гарантируя выполнение заданных технических требований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ласточкин В.М., Машин А. Е. Реализация энергосберегающих технологий в крановых электроприводах // Поъемно-транспортное оборудование.
- 2 Макаров А. А. Двигатели новой серии для частотно–регулируемого электропривода кранов // Электричество. – 2005. – №5.
- 3 Яуре А. Г. Певзнер Е. М. Крановый электропривод: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 334 с.
- 4 Удуд Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 448 с.
- 5 Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристик электроприводов переменного тока. Ч. 1. Асинхронный электродвигатель: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 136 с.
- 6 Удуд Л.О, Мальцева О.П. Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч 6. Механическая система электропривода. – издание 2–е переработанное и дополненное – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 148 с
- 7 Удуд Л.О, Мальцева О.П. Кояин Н.В. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 152 с.
- 8 ATV71 KATALOG. 2009. – 260 pp.
- 9 Ласточкин В.М., Шамрай Ф.А. Методика по силовому расчету частотно–регулируемых электроприводов крановых механизмов. – техническая коллекция Schneider Electric, 2007 г., 19 с.
- 10 Сокольский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Изд-кий центр «Академия», 2006 – 272с.

11 Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 4 Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 164 с.

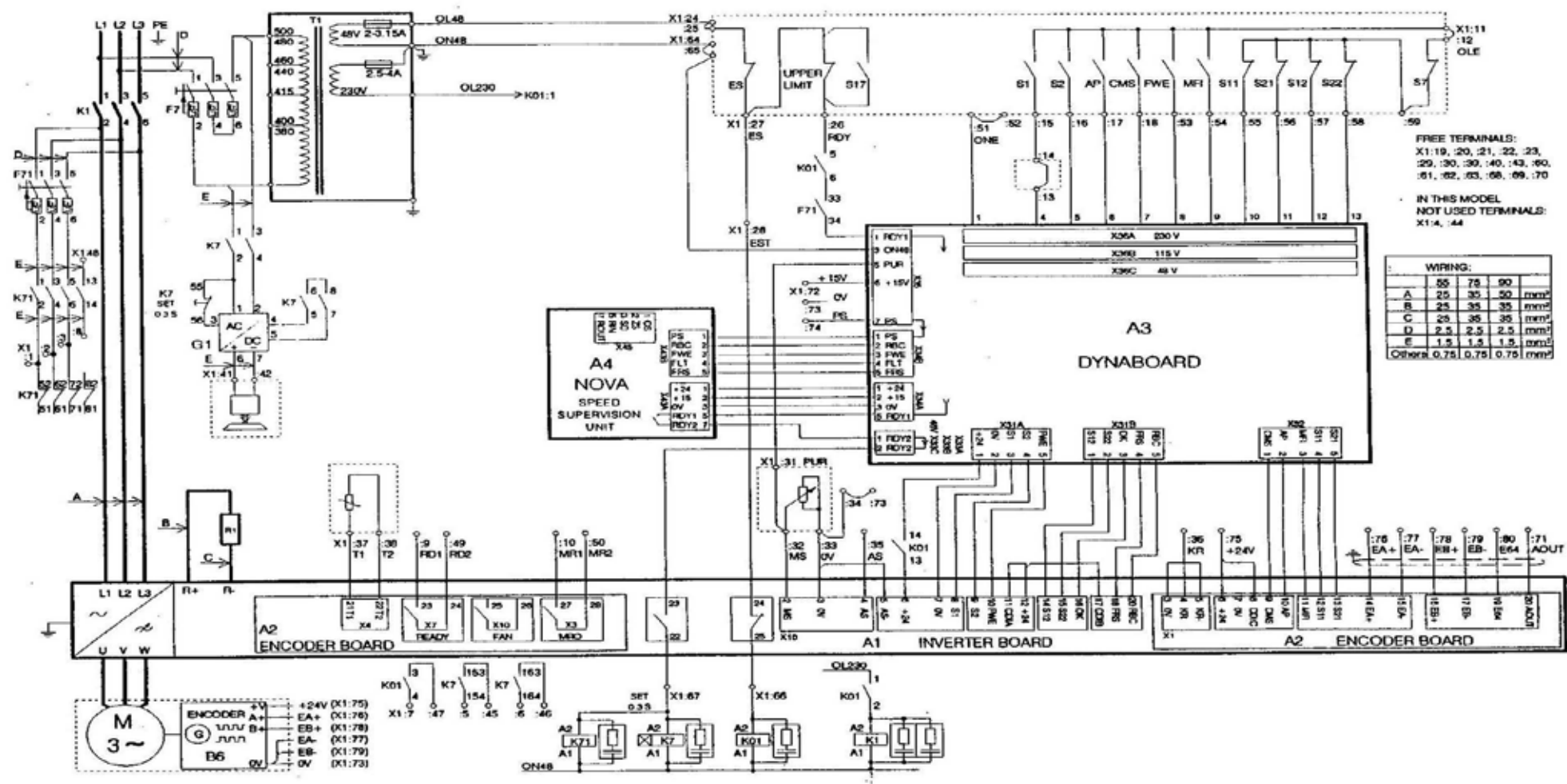
12 Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно–регулируемых асинхронных электроприводах. – Чебоксары: Изд–во Чуваш ун–та, 1998. 172 с.

13 Черных И.В. Моделирование электрических устройств в *MATLAB*, *SimPowerSystems* и *Simulink* – СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с.

14 Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.

Приложение А

Схема электрическая принципиальная электропривода механизма подъема крана



Приложение Б

Схема электрическая функциональная САУ электропривода механизма подъема крана

